城市生态学

〔日〕中野尊正　沼田 真　半谷高久　安部喜也 著

科学出版社

城市生态学

〔日〕中野尊正 沼田 真
半谷高久 安部喜也 著

孟德政 刘得新 译

石树人 校

科学出版社

1986

内 容 简 介

本书是日本出版的生态学丛书之一，是在著名生态学家丛书编委宝月欣二先生主持下，由沼田真教授等几位学者编写成的。作者以大量的事例、多年的观测资料，论述了城市自然特点，城市化过程对自然环境的影响，城市生态系统的结构、功能和动态，城市的绿化，城市环境污染及其防治，以及工农业生产基地的合理规划和建设等问题。这对我国城市规划和建设具有很大参考价值。同时对我国开展城市生态学研究也具有指导意义。

我国随着四化建设，城市将继续扩大。本书所论述的城市生态问题，虽然主要是以日本为例，但城市生态系统演化的基本原理是具有普遍意义的，很值得我们一读，为预防城市环境恶化将大有裨益。

本书可供生态学、环境科学、地理学、国土整治等科学工作者阅读，亦可供城市建设者和关心城市环境的人们参考。

中野尊正　沼田　真　半谷高久　安部喜也 著
都市生態学
共立出版株式会社，1978年第4版

城市生态学
〔日〕中野尊正　沼田　真　半谷高久　安部喜也 著
孟德政　刘得新 译
石树人 校
责任编辑　于　拔
科学出版社 出版
北京朝阳门内大街137号
中国科学院印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行　各地新华书店经售
*
1986年4月第一版　开本：787×1092　1/32
1986年4月第一次印刷　印张：4 7/8
印数：0001—5,000　字数：106,000
统一书号：13031·3142
本社书号：4466·13—18
定价：1.20元

一贯热爱自然的日本人，近年来为追求幸福，却不知不觉地在严重地破坏着自然，甚至比欧美走得更远。时至今日，我们不得不重新认识自然，去了解我们与自然之间的关系。

人世生存难。生存难才迫使人们去考虑人为的环境，并进一步考虑人为环境周围的自然环境。正是由于这种缘故，才使人们去重新认识生态学。

现在需要回答生态学是什么，并且指出其不足之处，使之得到进一步的发展。为此，很多生态学家根据战前的长期历史和战后的，尤其是最近几年的迅速发展史，预测今后的生态学问题，作了大量工作，于是出版了这套丛书。

一切都在急剧变化。本书如能使读者学到一些贯穿于变化之中的法则，以了解我们的前景，则作者将感到非常荣幸。

编辑委员

北野右三（东京都立大学）
宫见俊夫（大阪市立大学）
宝月厚二（东京都立大学名誉教授）
森下晋（东京大学名誉教授）
[illegible]三（东京大学教授）
山[illegible]（东京大学教授）

序　言

应约执笔撰写生态学讲座之一的城市生态学，我深感任务艰巨。因为，作为现代人类生活密集性象征的城市生态学虽然颇受重视，文部省还将它作为特定的研究项目，成立了研究小组进行了研究，但目前称得上城市生态学的完整体系尚未建立起来，只不过做了一些尝试性的研究而已。

有关城市以及城市问题的文献，最近读不胜读，但以生态学的观点研究城市的文章可以说根本没有。正当探索在这样困难情况下如何编好本书的时候，接到编委之一的宝月欣二先生的通知，在 1971 年 12 月 27 日召开了有半谷高久、宝月欣二、石原舜介、中野尊正、沼田真、柴田德卫等六人参加的座谈会。最后，宝月先生以会上发表的意见为基础，提出了关于城市生态学一书的大致设想委托我们四人负责编写。

宝月先生所草拟的文章以后有机会再另行发表。对于城市生态学，他提出了大致划分的见解。其一，是关于城市生物的生态学，也就是深受城市这一人类集团影响的、特殊的生态学，即城市环境下的植物、动物、微生物或人类的生态学。

其二，是以城市本身的代谢为中心，研究城市和环境的关系，以及代谢对城市的作用等等。研究某一城市时，对其接纳多少物质、能量，如何使用，排出多少，在这一过程中环境又将如何被改变等等，这些都是很重要的. 为了将环境保持在某种状态，这方面的知识是必要的。这些就是宝月先生所阐述的关于城市生态学的两个见解。

我们四人虽然交换了各自的编写大纲，但未能进一步商

定细节，就分头撰写了。按宝月先生的划分见解，我担负的属于第一个范畴；安部喜也、半谷高久两位担负的属于第二个范畴。此外，半谷先生还承担着文部省指定的专题——“关于城市化学物质的社会地球化学行为的研究”，他试图将城市视为一种物质体系，以阐明各种物质及能量的收支和转化。也就是将城市比拟为一个生物体，来阐明其物质代谢，他认为这是城市生态学的一个基本部分。

中野尊正先生提出怎样才能正确认识城市地区的自然这一问题，他把城市作为人类的环境，试图从人类生存的角度进行研究。也就是要研究自然灾害、人为灾害以及自然环境和天然资源的破坏与荒废等，而这些都是主体的城市与其客体的自然条件、自然资源相互作用的结果。按宝月先生的划分，这是接近于第一个范畴的内容。

这本书是我们按自己的见解分头撰写后汇集成册的，只是一些初步的论述，如能对城市生态学的发展和确立起到抛砖引玉的作用，则不胜荣幸。最后对鼓励我们写成此书的宝月欣二编委和共立出版社的若井宽先生深致谢意。

沼田　真

1973 年 10 月

目　录

第一编　作为人类环境的城市　（中野尊正）

第二编　城市生态系统的结构和动态　（沼田真）

第三编 城市的物质代谢(安部喜也、半谷高久)

第一编　作为人类环境的城市

中野尊正

第1章　城市和自然

1.1　对城市地区自然研究的立场

先不谈有没有可以叫做城市生态学的这门学科，客观上，有越来越多的人在担心城市环境逐渐恶化，预计将来还会出现更严重的事态，甚至可能影响到人类的生存，因而痛感有必要从人类生存的立场出发去研究作为人类生活环境的城市。这些人虽然还不能说都是以人类为中心去研究城市或城市环境的，但确实提出了一些问题。其中有的虽没有确切依据，只是评论性发言，但是有各种学术领域的人，不仅是城市建设学家，对作为人类环境的城市在进行思考，进行研究，勇于发表见解，这一事实本身就很有意义。

本稿也不拘泥于“生态学”的定义，而是根据笔者认识到的从事“城市自然环境”研究的必要性及其社会意义；不是按教科书形式，而是按提出问题的序论性随笔方式编写的。笔者是学自然科学和地区调查技术的，缺乏社会科学方面的知识，预计本书可能起到初步研究报告的作用。

我们周围的“自然”，有时被叫做自然、自然条件或自然环境。加以利用能产生经济价值的自然，叫做自然资源；对来

自外界的对人类生活和生产活动起不好作用的，根据其外力的种类和作用的结果，叫做灾害、公害或环境破坏。不用说一般人，甚至研究人员在宣传的时候，也笼统地使用这些名词，以至有时引起混乱。自然这个词往往局限于生物的自然，即针对生物来说的，自然和自然环境常常是不加区别的。自然环境，严格地说应该叫做生物的自然环境，即常常是以生物为中心使用这个词的。

自然是客观存在的，自然环境是由环境同其主体的关系而形成的。自然条件是人类或人类谋生的对象，与自然、自然环境在概念上是不同的。自然条件本身并不能得出经济价值来，在这一点上和直接产生经济价值的自然资源的概念不同。自然科学研究的是自然，工程学、农学、经济学研究的是自然条件或自然资源这个自然的另一侧面。自然环境在今天又重新作为问题提出来，可以说是立足于自然条件和自然资源对自然资源的开发、生产、消费等人为活动的反省。在这一点上，研究自然环境的立场，与研究自然的立场，与生产等利用自然的立场是不一样的。如不理解这一点，一切议论都将是枉费唇舌，并且研究自然环境的立场也将因经济原则而完全消失。

本编以城市为主体，论述作为城市客体的自然条件、自然环境、自然资源，及其相互作用而产生的自然灾害、自然性灾害、人为的灾害，自然本身以及自然环境、自然资源的破坏和荒废等。

1.2 研究城市自然的社会科学观点

城市是政治、行政、经济、社会、文化等人类活动的场所。在物资方面，建筑物占据着比较狭窄的空间，并有担负城市功能活动的人群，有必要的交通设备和其他各种设备。城市具

有物质的、经济的、社会的以及文化的各种因素以及居民等本来就是和自然相对立的非自然的产物。城市是在破坏自然、损伤自然中逐渐扩大起来的，城市的各种活动以其产生的废弃物质在继续破坏城市及其周围的自然和自然环境。

有关城市的各种法规，似乎认为城市破坏自然和自然环境是理所当然的，从而未作有效的限制。某些限制在行政措施上虽然不是没有规定，但却恶化了城市环境，在有关首都境内绿化地带的规定中可以看到这种事例。建筑标准法的实施是以建筑物为中心的，以至把城市环境破坏到今天这样。市内修建高速公路使沿线的噪音集中在狭窄的带状地区，从而恶化了路旁的中层建筑物的居住环境。

有关城市功能的研究人员也在尚无充分研究结果的情况下，就肯定和赞成城市的大型化。试举汽车为例，在美国轿车普及率每 1,000 人为 727 辆（1968 年），而日本为 68 辆（1969 年）。于是认为日本的汽车普及率尚低，并提出了“社会生活摩托化的时代”等不恰当的口号，煽起了汽车热。1968 年，美国有汽车 106200 辆*，日本是 15400 辆**，但公路全长美国是 5,929,000 公里，日本是 1,005,000 公里；平均每公里的辆数，美国是 17.2 辆，日本是 15.4 辆。如再把公路宽度和路面铺装率***（美国 43.6%，日本 12.6%）计算在内，那么日本每公里的汽车辆数就相当于美国的 3 倍。由于路面铺装不良而产生的噪音和由于交通量大而路面又狭窄，使沿线居民因汽车带来的公害已达到世界最坏的程度。平原地区每平方公里汽车辆数，在美国为 43 辆，日本为 171 辆，相当于美国的 4 倍。这

---

* 原文有误，应为 101,978,800 辆。——译者注

** 原文有误，应为 15,477,000 辆。——译者注

*** 路面铺装率：是指用沥青或水泥覆盖的路面的长度与道路总长度之比，用百分数表示。——译者注

种情况如再按地区分布计算，城市及其周围地区每平方公里则超过 1,500 辆，数字大得惊人。

即使这样，在日本的城市及其周围却有 7,000 万人在生存着，所以外国人把日本看成是公害的试验场，这也许是有道理的。

上述数字是根据纷纷议论公害问题以前的 1969 年的资料统计的。在这以后，一方面汽车排气带来种种问题，另一方面日本汽车拥有辆数却在不断增加，这同汽车工业的收益名列前茅是相联系的。1955 年以后日本经济高速度的发展，主要靠国内需求，最近出口量也在加大。即使为此，日本企业的海外销售率仅为 2%，由此可以清楚看到，包括汽车工业在内都是在国内环境恶化的情况下继续进行生产的。仅以汽车工业为例，比较一下 1969 年销售额相近的“菲亚特”(法国)、“丰田”、“雷诺”(法国)和“日产”，在雇用人数上日本方面要少 $\frac{1}{3.5}-\frac{1}{2}$，这表明日本雇用人员每人的劳动负担量要大得多。尽管日本汽车工业的发展是建筑在工人的牺牲和沿线居民的潜在危害的基础上的，但人们还在追求汽车，不肯罢休。不仅如此，还在计划着加宽和延长公路，以便汽车跑得更快更舒适。近年又出现了“用自行车代替汽车”等时髦说法，以至公路、人行道、公园等处都因为自行车的增多而使人不能放心地走路。这些都是毫无根据地盲目宣传的结果。

城市中的绿地是不能不受城市的各种影响而孤立存在的。这样的绿地如果完全听其自然而放任不管，就可能变成不利于人类的自然环境。城市中的绿地发挥其绿地功能的前提是要有人类的保护和管理，否则是不行的。加强保护和管理的目的是为了保持作为自然环境的绿地的功能，而不能只靠绿地本身的自律作用，因为人类生活和城市只能减弱绿地

本身自律的效果，而不能提高其效果。所以要靠城市居民的勤加管理才能提高绿地改善环境的功能。

以为市区的农田具有绿地功能，因而实行免除其农田的地皮普通税的政策，这种纳税负担不平衡的出现，是政治家对环境问题的无知所造成的。只能说这是政治家的功利主义的判断。

尽管城市居民不惜财力想要提高绿地的功能，但这种考虑不是出自构成绿地的植物本身的需要，而是基于人类的功利主义的判断。所以，或因打扫落叶费事而砍伐树木，或因妨碍汽车行驶时的视线而把作为历史遗产的行道杉树（*Cryptomeria japonica*）砍掉，汽车在不顾植物的死活而飞驶。甚至大喊环境问题的人也不肯放弃散布废气的汽车。归根到底，人类是自然的破坏者，但又厚着脸皮在寻求抗废气能力强的行道树。如果是真正认为人类和城市需要自然，理应会选择别的办法的。

建筑家随心所欲地建造建筑物，城市在时间上、空间上不断改变着面貌。砍伐宽阔的宅地上的树木来建造公寓，而以远处的山林来代替城市里的园林。城市规划者以提高城市的经济功能为目的，醉心于街道的计划。街道计划因市民反对而遭受挫折时，又无声无息地撤消了。以上种种，扩大了今天城市的环境问题，无法解决所引起的城市功能的麻痹、停止和降低，以至出现了怀疑人类能否在城市里生存下去的状况。

城市历来是由管理和被管理两个相反立场的人群组成的。管理者也好，被管理者也好，都是因为有某些利益才集聚到城市的。利益，有统治上的利益，有生产上、经济上的利益，或者生活上的利益。只要有利益，人们哪管它破坏自然环境与否，从不考虑自然或自然环境，而优先考虑的是自己的利益。利益，几乎都是金钱的物质的利益，所以在和自然的关系

上是利用自然的逻辑。对于向地方发展的企业来说，海和河并不是自然，不过是可以航行船舶和抛弃垃圾的场所而已。至于近海渔民能否打鱼，对企业是无关紧要的，目前也仍然是这样。连燃烧时需要的氧气也不过理解为供人使用的资源而已。有资源利用的理论，而没有自然环境的理论。为什么没有呢？为什么没有考虑到这一点呢？答案是很简单的，因为它不能变成金钱。

考究城市自然的社会科学的观点，产生于对上述问题的认识。看来有必要确立一个与已有的以经济学和社会学为基础的法律体系不同的、以外部经济论、外部社会论为基础的法律体系。在没有环境保护逻辑的情况下，即使推行一些零星的环保措施，最终也不会有满意的效果．只要以金钱来评定其重要性，环境保护的立场就是不坚定的。靠开发资源改善环境的逻辑是开发论的立场，结果必然导致资源枯竭。

1.3 城市的发展及其界限

一个人生存下去需要多少空间？外国有1平方公里几万人的例子，江户时代的东京也有超过5万人的地方。那时工业和其他产业还不发达，所以人们并不那么痛苦。现在的东京每平方公里有超过3万人的地方，23个区平均也超过15,300人，即65平方米有1个人，换句话说就是每隔8.1米就站有1个人。而且在他们中间还要嵌入道路、公司、商店、学校等等，所以人口过密的情况是可以想见的。如引用前述汽车数字为例，则在东京平均每平方公里同时就有人口15,300人和汽车5,000辆以上。这种情况虽然被认为是世界上最坏的，但人们也还在生存着，所以可以认为还没有达到生物的生存界限。到底能容纳的人口和汽车的界限是多少呢？

试以东京为例作一番研究。

若是减去汽车占用的面积，一个人占地为63平方米；再减去30%的政府机关、道路、公园、学校等公共设备所占的面积，则每人为44平方米；如再减去30%的企业办事处、工厂、商店等占用面积，就成了每人25平方米。对于夫妇二人来说，居住50平方米左右的面积不算太宽也不算太窄，但东京都内的地价如每平方米5万日元左右就要250万日元，每平方米10万日元就要500万日元才能住到50平方米。

由于经济力量不均衡，所以就出现了按人平均占有空间的不平衡。利用空间的立体结构的研究则倾向于多层建筑。如果实现了多层化和高层化，从计算可以得出在23个区内能容纳更多的人口。

但是，如果将现在的23个区全部多层化，高层化，需要多少经费呢？每平方米建筑面积需要30万日元的话，每1平方公里就要3,000亿日元，23个区共计577平方公里，就要173兆日元。平均建筑五层楼房需要700兆日元，再加上道路，地下设施等就需要1,000兆日元以上的巨款。把东京都的全部财政预算都投进来也需要1,000年，这是不可能实现的。即便能够实现，以关东地方拥有的水资源数量也无法供应每平方公里7.5—8.0万人口的用水。这些人的垃圾的处理也将成为解决不了的难题。东京是估算城市发展及其界限的很恰当的地方，只靠高层建筑的手段解决问题有极大困难，这一点是很清楚的。

水是研究城市发展界限的物质指标之一。预计东京在1985年缺水40%，而现在还没兴建补充水源设施，即使修建也要多年，严重缺水迟早将成为社会问题。整个日本每平方公里有可能利用的水量为50万吨左右，为解决水源，企业向地方发展可以说是自然趋势。这样，水污染就必然要遍及全

国。

再综合考虑可能发生的地震灾害等危险的自然条件，为维护城市的环境就应该有一个限度，但这个限度尚未明确。为解决这一庞大的研究课题，什么是城市，自然对城市的必要性等问题，必须由不同领域的专家共同来研究。

第2章　城市化和自然的变化

2.1　早期环境问题的事例

进入近代的经济体制以前，国内外都有大规模破坏自然的事例。欧洲在工业革命以前，日本在江户时代以前的环境问题，虽然没有认识到是环境问题，但从科学的观点来看，和今天的公害、矿毒害问题，多同出一辙。

在中世纪的文献上，记载有荷兰将含盐的泥炭土中的泥炭烧掉，制出其中的盐送往英国的事例。因未见原书不知其真伪，但是在挖出泥炭遗迹的地方，由于地下水渗出形成为沼泽地，剩下的泥炭变成一条条的带状旱地，是存在着的。很明显，这是土地滥用的结果。当然也有一些地方人们早就在那里划船、钓鱼，冬天结冰后又当滑冰场，被市民利用为休养娱乐的场所了。虽然有这样变祸为福的事例，但必须注意这种变化是同城市生活相关联的。

同样是荷兰的例子，可以举出北部荷兰改良泥炭地的事例。那里，有的地区下层的尚未分解的高品位泥炭与表面已经分解的低品位泥炭相重迭。为了利用高品位泥炭当燃料，把上层的低品位泥炭掀到一边，掘出下部的高位泥炭，然后再把掀下来的低位泥炭退回原处进行翻耕，因和下层的砂子混合，成为良好的耕地。这样大约花费了500年的时间，完成了泥炭地的土壤改良，挖出的泥炭又可作为城市的燃料。这也可以说是同城市相关联的自然变化的例子。这是一箭双雕的典型。

随同烧煤，特别是使用焦炭的增多而招致自然荒废的例子，是从英国的产业革命开始的，它使欧洲各平原上的森林变成了草地。各地都有很多砍伐森林当燃料的事例。使用煤炭，或为炼焦用的薪材而砍伐森林的事例，可以说是近代的破坏环境的原始类型。这种情况不能说与城市、城市居民以及文明之间没有关系。

日本的森林破坏从奈良时代以来就未停止过，而且范围不断扩大。在城市里，房屋代替了茅屋之后，森林破坏迅速加快。从文献上可以看到：在平安初期以畿内为中心，木曾、伊势、纪伊、摄津、出云等地都有很多这样事例。在中国山地，利用铁砂炼铁而采伐森林，破坏了山地，甚至成为形成沿山阳道小型平原群的动力。随着铜、金和银经济价值的提高，并能铸成钱币之后，日本各地开发矿山加速进行。因而以矿山为中心的矿毒害、烟害和因采伐森林所造成的森林破坏等都非常严重，这些古书上都有记载。足尾、别子、小阪等处就是这样的例子。还有因废水引起的水质污染灾害，但多不予重视，提意见的人反而受到惩罚。这些事例虽然都发生在山区，但要看到这和城市的产生和发展是联系着的。

日本的土地开发可以冲积平原的水田化为代表。可能成为水田的地方都相继开成了水田。在全国各地都有在水源不足的一部分洪积台地上引水开水田的。这样的事例一直继续到现在。这些平坦的土地在工业化、城市化的进程中，又相继成为市街和工厂的用地。经过垫土成为市街用地，或不垫土就成为住宅用地的原水田地区，很容易受地震或水灾的危害。在大阪可以看到，新开垦的水田地区市街化的过程和在这一过程中发生的自然变化的典型事例。后面将谈到其中地面下沉的例子。

及至明治之后，在推进近代化的过程中，其初期就有种种

破坏环境的事例。设置上野火车站之后，喷出的烟害使上野的森林受到严重的损害是早已闻名的。在足尾、别子、直岛、四阪岛、佐贺关等地的矿物精炼厂周围，烟害损坏了森林植被。被称为东方的曼彻斯特的大阪，来自工厂的烟害也是众所周知的。这些虽然不叫公害，而叫烟害或矿毒害，但在对生物和人类在物理化学方面的影响这一点上，就是今天公害的先例。燃料改变了，技术进步了，化学物质的种类和浓度发生了变化，但从社会科学的观点看，还是可以当做同一类现象的。

在自然变化动因的改变之中，从初期的形式到现在的形式，除了自古以来的地面下沉和最近的水质问题外，对于水和热的影响，没有特别予以注意。有关这方面的基础研究项目很多，有待于今后逐步解决。

2.2 地下水的利用和自然的变化

大阪的鸿池新田等处在市街化的过程中，未能及时推广自来水设施。由于专靠利用地下水，特别是在修建工厂之后，大量汲取地下水，遂引起地面下沉。由于近代化、城市化、修建工厂、人口流入、地下水用量增大、城市供水及工业供水设施迟迟不能解决、法律不完备和法律运用不当、有缺点的研究人员的介入等很多因素，造成了今天的地面下沉。只考虑降低地下水位、压缩松软地层从这些物理方面采取措施，是不正确的。不是说这些物理现象的研究根本无用，但不可否认的是行政和企业方面正是利用这一点来推脱他们本身应负的责任。

虽然如此，大阪是日本防止因使用地下水而发生地面下沉的最早的地方。这一地区于昭和初期，通过实际测量测出地面下沉，比东京晚一些。但实际地面下沉是从大正中期或

以前开始的。即使算是大正九年(1920年)开始,至今也已经经过了五十三年以上的时间了。伴随着地面下沉的加剧所发生的海水涨潮灾害和大雨侵袭灾害,是引人注目的。以涨潮灾害为例,1920—24年2次;1925—30年2次;1931—35年3次;1936—40年3次;1941—45年3次;1946—50年1次;1956—60年0次;1961—65年1次;1966—70年0次;从中可见地面下沉的进展和防治引起的变化。大雨灾害在采取了措施后反而增加了:1951—55年5次;1956—60年4次。这是由于下水道修配不及时的缘故。五年间累计下沉量以1956—60年的90厘米上下为顶点,最近的五年间已控制在10厘米以内。在此期间,仍然继续发生着地下水的盐化、地面的下沉、建筑物的各种损坏。而下沉了的地面如放置不管,就会成为半永久性的,不能恢复到原来的状态。地震时防波堤一旦被破坏,就有继续遭受地震水灾袭击的危险。即由于恢复地下水位引起"地下水公害"也只是时间上的问题罢了。

大阪的事例也同样适用于东京,但东京比大阪采取措施晚,而且还增加了抽取天然气引起的问题。此外,在大阪向东大阪、寝屋川等内陆的扩展,范围较小;而在东京除了向千叶、船桥、市川等千叶县方面发展外,还在向琦玉县东部的低洼地带扩大,再加上上水道抽水和汲取天然气,在从社会科学的观点进行"城市生态学"的研究上,是令人极感兴趣的事例。在认为人口压力和经济发展都是理所当然的这一观点的基础上,近十年来的实际情况就是在执行法律和采取措施的情况下逐步恶化的,这一点值得重视。

2.3 地面下沉区域向全国延伸

因为法律和根据法律采取的措施未必完善,所以应该仔

细研究与城市环境问题有关的法律本身和运用法律的内容。笔者对此虽有认识，但还没有进行研究。在此，想概观一下地面下沉全国化的情况，并指出其问题之所在。

图 2.1 表示 1970 年全国的地面下沉区域，表 2.1 表示历年地面下沉区域变化的情况。从图 2.1 可以看到，全国主要城市相继发生地面下沉，不仅是大城市，也波及到地方性城市，这都是由于利用承压地下水引起的。从表 2.1 可以看到地面下沉区域逐年向全国扩大，尤其在实施所得倍增计划以后，波及到地方的中小城市地区，用水的途径也增多了。应当注意，虽然制定和推行了限制使用地下水的工业用水法和所谓的大厦用水法，却反而加剧了地下水的使用。再有，因汲取被强烈要求限制使用的水溶性天然气而引起的地面下沉，除了新泻以外，在九十九里、千叶、市原、船桥、市川、东京、行德、浦安以及最近在琦玉县内也经常发生。这正表明矿业法及其实施是有问题的。不是“不知不觉地地面下沉”，而是声势浩大地地面下沉。其所以声势浩大，根本原因在于经济、在于利用资源的思想，换句话说，是因为没有环境保护的观念，或者说这种观念很淡薄。

因地面下沉而出现的海拔零米地带的面积，在 1960 年前后约为 300 平方公里，到 1970 年扩大到约 390 平方公里。连内陆的岐阜、琦玉两县也出现了低于满潮水平面的地区。与此同时，内陆水泛滥的增多，下水道修建量的增大等等，更扩大了环境问题。

在新泻，已发生过地震水灾。今后，地震水灾可能在东京、浦安、市川、船桥、高知、四日市、桑名、名古屋松阪、名古屋、大阪、东大阪、尼崎等地发生。满潮时，在清水的一部分、川口市、岐阜县西南部等地区也有发生的可能。这些地区的地下水还正在盐化。

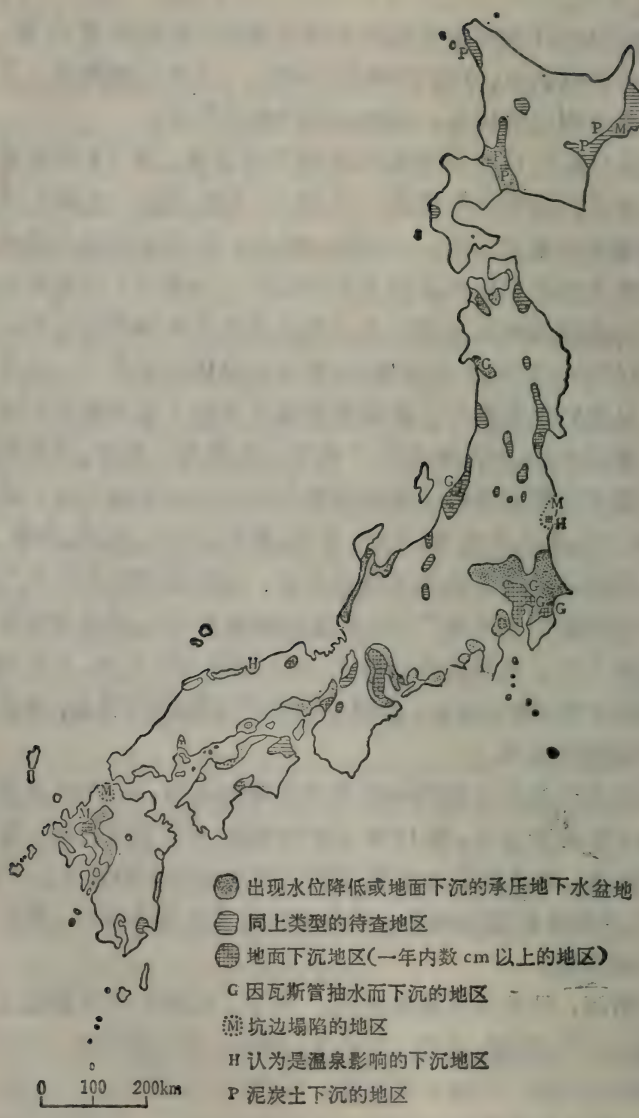
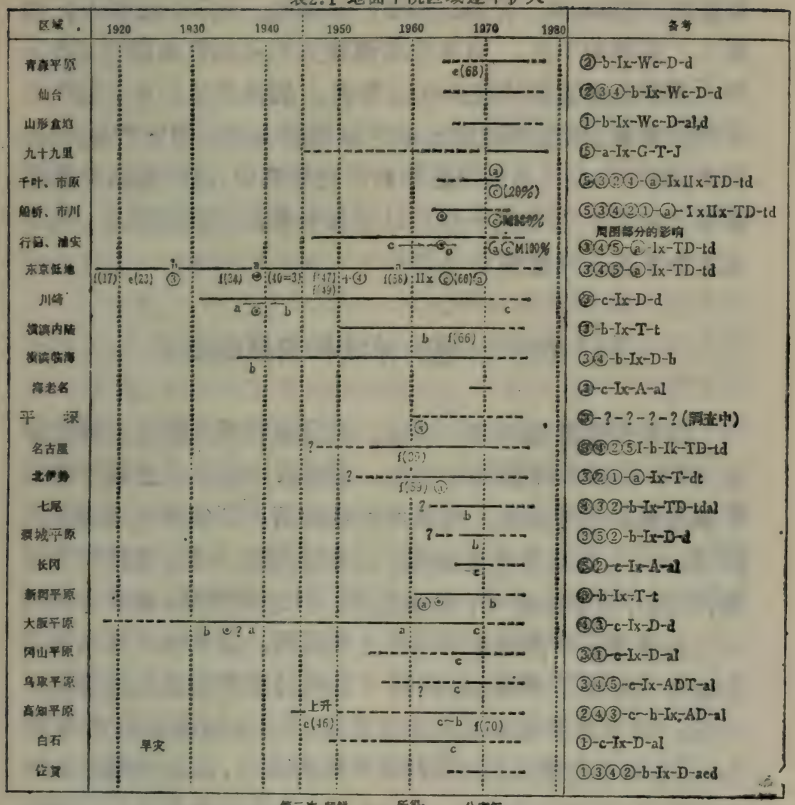


图 2.1 日本地面下沉区域

表2.1 地面下沉区域逐年扩大



a：100毫米以上/年　b：50毫米以上/年　c：10毫米以上/年

ⓐ：200毫米以上/年

e：地震（ ）内为发生年

f：水灾（ ）内为发生年

Ix：冲积地区广泛下沉

Iy：冲积地区局部下沉（1－2平方公里的范围）

IIx：洪积台地广泛下沉

IIy：洪积台地局部下沉

地下水

Wc：承压水

Wf：非承压水

G：瓦斯管水

M：矿山型

H：温泉型

抽水

A：来自冲积层

D：自来洪积层

T：来自第三纪地层

V：来自火山岩类地层

O：来自其它古刚岩类地层

压密层

al：冲积层

d：洪积层

t：第三纪地层

① 农业用水

② 自来水用水

③ 工业用水

④ 大厦用水

⑤ 其它（矿业用水，温泉用水，消雪用水）

ⓐ 制度了用水亲程

◉ 海拔0米地带（ ）内为年代

ⓢ 盐水化

对于地面下沉的看法，存在着很大分歧，有的认为地下水是资源，理当利用；有的认为要严禁抽水。此外，还有人主张要人工蓄积地下水。日本水资源按人口平均数量很小，所以用水问题急待重新从整体加以考虑。因为是人口多，生产水平高的国家，所以用过的水的污染程度比其他国家严重。在日本，城市和农村用水都必须有严格的规定，这比起欧美各国来更为必要。对于这一点的认识和长期的预测性调查，从来没有象现在这样重要。

2.4 洪积台地的开发和自然的变化

以水田为基础的日本农业，在土地利用上是以占国土面积 13% 的冲积平原为中心的。城市多半建筑在接壤于冲积平原的洪积台地边缘，向低地和台地两方面延伸。东京、大阪、仙台、名古屋等都是如此。洪积台地的开发，江户时期以前，受掘井技术的影响，进展迟缓。但这种情况，也有在高地可以修建庞大军用设施的历史上的原因。这为第二次大战后的城市化保证了用地，从 1955 年的统计数字可以明显看出这一点。日本不同地形的人口分布是：占全国面积的 67% 的山地，分布着全国人口的 32%；9% 的火山，火山山麓住有人口 3%；11% 的台地有人口 20%；13% 的低地有人口 45%；台地地区人口密度每平方公里约 500 人，而低地区每平方公里约 940 人，即台地区的人口约为低地区的一半。

这种状况因城市向台地和丘陵地发展而在迅速变化。对自然的影响也很明显，引起生物线的后退和绿地的消失。直到 50 年代的前半期武藏野还处处残存着绿地，可是到了 60 年代，地价便宜的神田川、石神井川、谷川等谷底平原首先被工厂和住宅所占据。市街沿着国营铁路和私营铁路线在扩

展，剩下的中间地区也从东向西逐渐被占用了。其结果，受中小河流泛滥灾害的地区在向西延伸。

以涌泉为源头的中小河流，一向以清澈闻名。可是下水道的脏水和工厂的废水流入之后，很快变成连鱼类也不能生存的污浊的河流。散在的水田如今所剩无几，上、下水道也没修好。台地和谷底都有很多缺乏道路规划而扩展起来的不规则的市区，连消防车也进不去的道路就有 40% 之多。

这种情况，使有关人员认识到地震时的火灾，连山麓地区也有危险。从最近调查来看，如把地壳震度考虑在内，在东京 23 个区内，地震火灾最危险的地区，不是按常识判断的东京低洼地区，而是最近十五年左右在石神井川、神田川和谷川的谷底平原上建设的市街地区。一边招来潜在的地震危险，一边在膨胀的城市，随着自然的改变而成为最危险的地区。然而人们仍然以为山麓地带地壳坚固，地震时是安全的。这种对城市化引起的自然变化漫不经心的现状，是由于它不象空气污染那样与日常生活直接有关，理解它尚有困难。

台地边缘住宅地区崖崩* 的危险，在东京的板桥、练马在明显增大。从全国来看，正向全国各地包括横滨、川绮、多摩、仙台、札幌、福冈、大阪周围等地扩展。哪里的树木被砍伐，崖崩的危险就会威胁哪里。

台地面积较大的茨城、千叶县等处，过去人口较少，但现在就连茨城的人口密度也超过了荷兰。如表 2.2 所示，台地和低地多的九州平地人口密度为荷兰的 2.5 倍。全国平地平均每平方公里为 966 人，超过荷兰的 3 倍。和前述 1955 年的数字相比，可以了解到最近 10 年内台地和低地上自然景色消

---

* 崖崩：近年来新的用语，尚无确切的定义，是伴随城市的扩大，在市区周围台地边缘所见到的小规模的斜坡崩塌，比泥石流和山崩的规模小，但人们受害较大。——译者注

表 2.2　研究自然环境的社会数据(主要以 1970 年为标准)

番　号	项　　目	全　国	东京 23 区	四　国	九　州	新　泻	北海道
1	人口　千人	103,720	8,841	3,904	12,072	2,361	5,184
2	面积　平方公里	370,073	577	18,778	42,016	12,577	78,513
3	人口密度 1/2　人/平方公里	280	15,300	208	287	188	66
4	按人口平均面积 2/1　平方米/人	3,568	65	4,810	3,481	5,369	15,145
5	人与人之间的空间距离　米	59.6	8.1	69.4	59	73	123.1
6	山地人口　万人	约 2,000	0	约 150	约 370	约 43.5	约 80
7	山地面积　平方公里	282,992	0	17,480	31,970	9,433	56,671
8	山地率 7/2　%	76	0	88	76	75	71
9	山地人口密度 6/7　人/平方公里	71	0	约 86	约 116	46	14
10	按人口平均山地面积 7/1　平方米/人	2,728	0	4,477	2,648	3,996	10,932
11	平地人口　万人	约 8,372	884.1	240	约 837	192.6	约 430
12	平地面积　平方公里	86,773	577	2,287	10,148	3,144	23,063
13	平地率　%	24	100	12	24	25	29
14	平地人口密度　人/平方公里	约 966	15,300	1,049	825	613	186
15	平地人口每人平均平地面积　平方米/人	1,036	65	953	1,212	1,632	5,363
16	人与人之间在平地上的空间距离　米	32.2	8.1	30.9	34.8	40.4	73.2

失的规模是何等巨大。这一期间的最后7年内企业占据的土地竟达 4,000 平方公里，谁应承担自然景物消失的责任是很清楚的。

研究保护自然的对策时，如不把这一点作为根本去考虑，就会被利用自然的理论挤垮，首先是生物，随后是人类，它们的生存将受到威胁。

第3章　自然灾害和自然性公害

3.1　世界的自然灾害

L.Sheehan、K. Hewitt（1970）曾汇总过世界自然灾害次数。如表3.1所示，自然灾害的地区差别是很明显的。此表收集的自然灾害具有下述条件：

（1）最少损失100万美元；

（2）最少死亡100人；

（3）最少有100人受伤；

（4）发生在1947年—67年的21年中；

（5）至少具备(1)(2)(3)中的一项。

汇总所引用的资料如下：

（1）纽约时报索引(必要时查阅了原报告)；

（2）英国百科年鉴；

（3）煤矿百科年鉴；

（4）美国人民百科年鉴；

（5）柯兴氏（Koesing）当代档案；

（6）研究室所藏其他有关特别灾害的资料（这些资料一般作核对用)。

主要国家(死亡1,300人以上)的死亡人数、次数、每次死亡数的比较如表3.3。

所记资料，说明在世界范围，亚洲各国因自然灾害而死亡的人数最多。从类别来看，有洪水、台风、旋风、地震、火山爆发等，发生季节也变化很大。其代表例便是日本。

表 3.1 世界的自然灾害

原　因	次数	原　因	次数
(1) 洪水	209	b. 火山爆发	13
(2) 台风,飓风,旋风	148	c. 山崩	13
(3) 地震	86	(9) 暴风雨	10
(4) 龙卷风	66	(10) 雪崩	9
(5) 强风,雷雨	32	(11) 大海潮	5
(6) 暴风雪	27	(12) 雾	3
(7) 热潮	16	(13) a. 霜	2
(8) a. 寒潮	13	b. 砂、尘暴	2

注：因为(2)、(5)、(11)都发生(1)，所以实际洪水为(1)+(2)+(5)+(11)=394次

表 3.2 1947 年至 1967 年历年发生灾害的次数

发生次数	年　份	发生次数	年　份
24 次	1962	31 次	1949,1959
25 次	1958,1961	32 次	1963
26 次	1965	33 次	1951,1955
27 次	无	34 次	1957,1960
28 次	1952,1956,1964	35 次	1950,1954
29 次	1966	36—44 次	无
30 次	1947,1967	45 次	1948,1953

注：被调查的 21 年期间，一年内受灾次数为 24—45，共死亡 441,855 人，平均每年 22,093 人。

3.2 日本的城市和灾害

日本引起自然灾害的自然现象，种类多，灾害发生频度大，再加上人为的因素，受害就更容易扩大。尤其在城市，城市灾害除火灾外，明显的有 1934 年因室户台风引起的以大阪为中心的水灾以及城市的地震灾害。但城市水灾的扩大化，与人为因素有关：如海滨地区的土地利用增加了，被害对象

表 3.3 受害国家及地区

国家及地区	死亡人数	灾害次数	死亡人数/次
阿富汗	2,210	3	737
阿尔及利亚	1,865	2	933
巴西	5,650	12	471
缅甸	4,400	7	629
斯里兰卡	1,625	4	406
智利	6,445	8	806
中国*	129,520	28	4,626
古巴	1,370	7	196
厄瓜多尔	8,050	2	4,025
德意志民主共和国	2,160	5	432
英国	4,930	17	290
海地	6,870	7	981
香港	3,320	5	664
印度	70,350	44	1,599
印度尼西亚	2,720	10	272
伊朗	21,320	18	1,184
意大利	3840	21	183
日本	31,630	44	719
墨西哥	3,740	16	234
摩洛哥	12,100	2	6,050
荷兰	1,870	3	623
尼泊尔	1,600	4	400
新几内亚	4,000	1	4,000
巴基斯坦	89,060	26	3,425
菲律宾	7,240	23	315
南朝鲜	6,400	11	582
南越	15,910	8	1,989
苏丹	2,030	1	2,030
中国台湾	3,020	9	2,030
泰国	1,310	2	655
土耳其	9,350	12	779
美国	7,620	201	38

* 另外，中国西藏死亡人数为 1,190，灾害次数为 3，死亡人数/次为 397。——译者注

也多了;从大阪的例子可以看出,因地面下沉易于发生特大潮水的灾害;还有虽修建有防波堤,但下水道的修建不及时,排水能力低下而遭受灾害等等。

地震时,砂质地基的液态化引起的灾害,也多发生在水田填平后改建为城市的地带。因为可以推测东京 23 个区的低洼地带,一半以上有发生液态化现象的可能,所以在 1923 年以后变成市街的低洼地区,有发生与当年关东大震灾类型很不相同的灾害的可能性。

海拔零米以下的地区已扩大到 70 平方公里以上。在延伸出去的防护堤出现损坏时,在短时间内这类地区就有被水淹没的可能。这样的地震水灾在新泻地震时实际上已经在市内出现过。

随着在斜坡平整为住宅用地的增多,崖崩灾害有增多的倾向。这种斜坡地有的覆盖着森林,有的是旱田,除了植被遭受严重破坏被平整为住宅用地的人工斜坡会发生崩塌外,因修建道路、铁路、工厂等劈开的斜面以及修筑堤坝的附近,发生崩塌的也日渐增多。象飞驒川公共汽车翻车事故之类的,沿山区小溪发生的泥石流或土砂崩塌引起的城市住民受害事例,全国各地正在增多。在这些地方行驶的多半是轿车,可以说多是在驾车郊游中遇难的。城市越缺少自然景色,这样的事例就会越多。

自然灾害一般地说来是由引起灾害的外力、遭受灾害的人和建筑物、以及被害的发生和扩大这三个因素相互联系而出现的。在被害对象物及其分布结构复杂的城市,遭受灾害及灾害扩大的机制也是多种多样的。再加上地面下沉等现象就更加复杂化了。图 3.1 表示自然灾害发生机制的模式。

在日本这样的高密度社会,自然力降低是同经济结构及其改建、行政措施及人口密度等交织在一起而难以避免的。

抽取水溶性天然气做为生产活动受到法律保护，但现实情况是矿区处于人口稠密的城市及其周围，生产活动的后果常常直接波及到城市地区。而且矿区一般规模较小，其生产对国民的好处是短暂的较小的。企业规模也往往较小，易受私权限制的影响。由此可见，实行优先保护企业的政策付出了恶化自然环境的这一高昂代价。

在城市自然的改变和恶化中，有不少这样典型事例。因此多半不能用单纯自然科学的方法研究环境问题。这是要求自然科学和社会科学真诚合作共同研究的领域。即使是自然外力强大的地震灾害，也不能说是纯粹的自然现象或天灾。如同时发生可以叫做自然性公害的地面下沉现象时，更是如此。

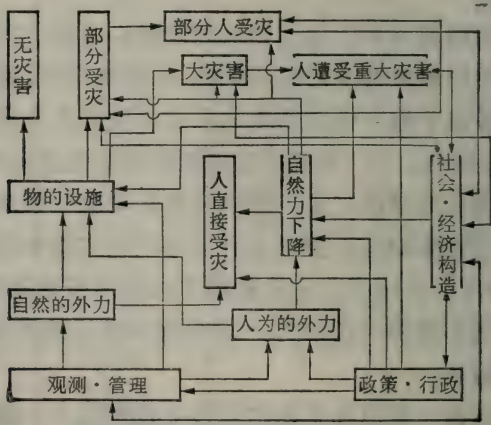


图 3.1　自然灾害发生的机制

图中箭头表示相关方向。自然力降低的事例如地面下沉、宅地建造等

3.3　城市和水

如前所述，水是左右城市发展界限的主要因素之一。水

不仅是一个限制因子，而且是从生态学的观点研究城市的一个立脚点。

在城市中，物质方面的设施挤压在狭窄的面积之内，靠这一狭窄的面积来保证水的供应，根本是不可能的。即使靠地下水，在今天这样的社会经济结构中，其数量也是不够的。因而城市必然要从别处引入需要的水。

城市不是生产水的场所，而是专事消费水和污染水的地方。用过的污水被排向海里或地下。城市越膨胀，污水量就越大。因此要有有关水的各种设施。城市用水问题直接发生在自然性的水问题和社会性的水问题相互联系之中。持续干旱时，水田地区多成为自然性的水问题而发生旱灾，但城市可能毫不缺水。管理城市本来要特别考虑水的问题，但今天的城市管理者却多集中精力于冷气暖气设备等次要问题上。

水的问题包括量、质和设施及其导致水的地区分布。量多量少都成问题。设施同水的社会经济上的需要有密切的关系。将城市水量不足归之于自然现象，是不正确的，应该归于行政措施的不力。因此，从工程学的立场看固不待言，更难从自然科学的立场引起对缺水的关注。

水同城市规模及产业结构关系很深，因此，是一个需要高瞻远瞩的课题。长远展望还有社会经济预测和自然科学条件的平衡的问题，如前所述，今后是不容乐观的。与此相关联，需要制定用水的社会规章，而从自然科学的立场去研究水，是制订这一规则的基础。城市和水的问题是中心课题，只靠现在这样的工程学的研究，是解决不了城市用水问题的，而这个问题又可以说是关系到城市兴衰和城市居民生存的问题。

第二编　城市生态系统的结构和动态

沼田　真

第1章　城市和城市化

1.1　绪　言

生态学者一向十分关心自然群落。一直向往去人迹未到的原始森林等处进行探险，企图阐明自然界的结构。现在仍有很多生态学工作者对那种原始的自然很感兴趣。但进入二十世纪以来，特别是战后，人口迅速膨胀，并且向城市集中，进而出现环境污染问题。目前，在地球上未受人类影响的大自然已经找不到了。象征人类生活的既然是城市，在一部分生态学者之间就产生了以生态系统（ecosystem）的观点研究城市的生态学结构和机能的兴趣。

既然叫城市，就是人类居住的地方，问题的核心当然是人类。研究人类的方法很多，既有从医学的角度研究人体的方法，也有从人类学的角度研究人体的方法。但这里不用那些直接的方法，而是从生物生态学的（bioecological）角度研究包括人类在内的城市生态系统（urban ecosystem）。

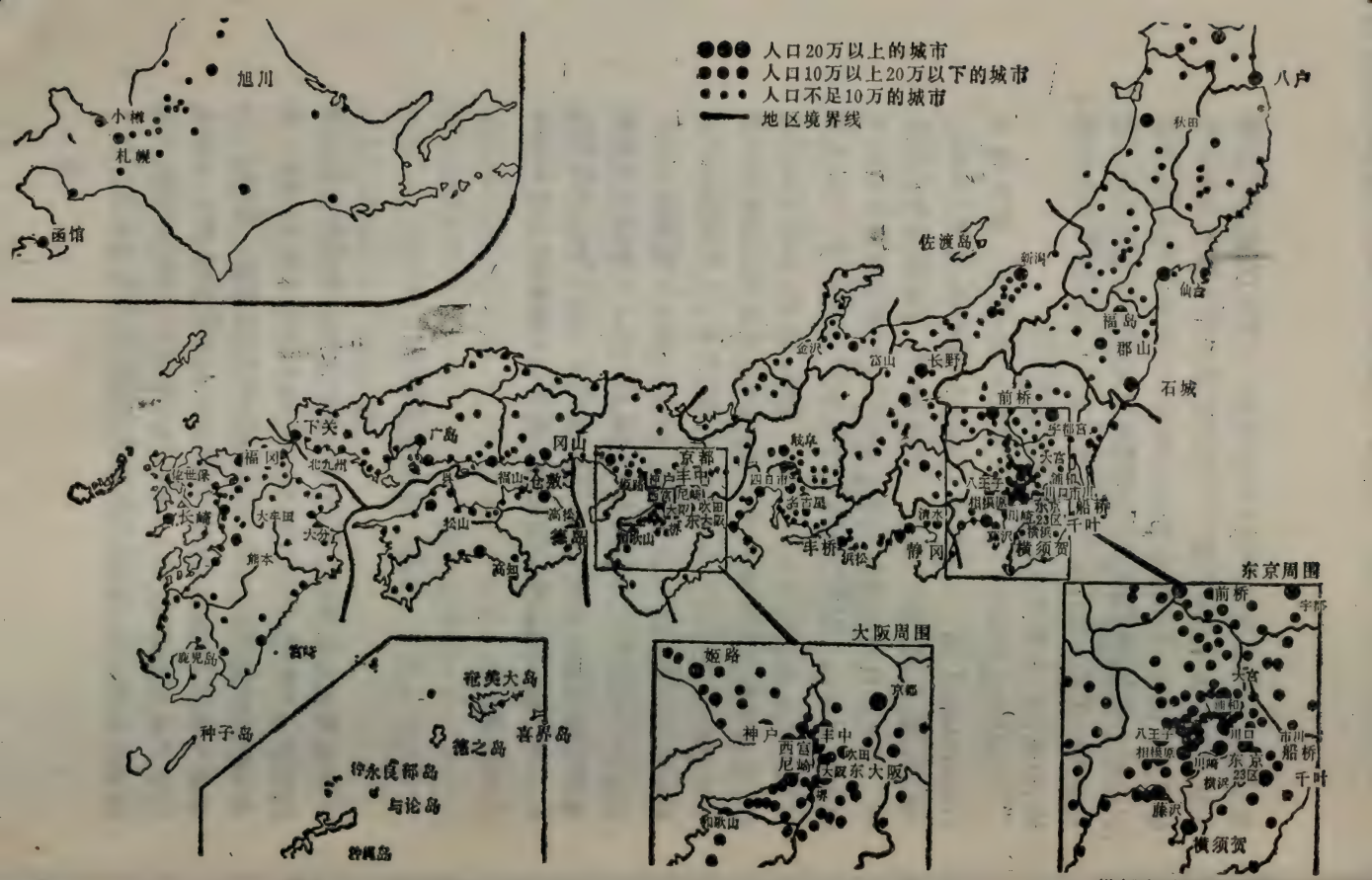
从某种意义说，城市是社会科学的概念，所以城市的特性

也不能只按自然科学的观点作出规定。但我们在这里采取的方法是将过去生态学传统中形成的方法论用于城市生态系统的研究。因而，不可能充分地全面地研究城市中的人类，而是以生物生态学的方法在可能范围内试图对人类进行探索。也就是对以人类为主体的环境系统的城市，从围绕人类的动植物、空气、水、土壤等周围部分进行探讨。

可以称之为城市主体的人类和生物群落，受城市化(urbanization)这一影响因素(Impact)[影响因、胁强(stress)、抑压因]的影响，处于对这一因素的接受、拒绝或排斥的关系中。本书的目的就是企图尽可能阐明这种城市生态系统的主体与城市化这一影响因素的相互关系。如前所述，对以人类为核心的生态系统的城市，虽有人类学、医学、心理学或社会学、地理学等各种研究方法，但我们在这里采用的当然是生态学的方法。也就是对包括人类在内的体系，从其周围部分通过对人类的影响因素进行探索。为此目的，仅仅罗列一些有关生态系统结构成因的调查资料是不行的，如能通过这些研究突出地显露出人类来就好了。但目前生态学中还没能创造出这种方法。可以说走这条路还需要进行新的综合科学的研究和探索。

1.2 城市化的标志

有关城市化指标，按日本科学技术厅的资源调查会总结的资料(1970)[1]，有以下几项：(1)人口向城市集中(人口、产业、物资向城市集中)；(2)家庭结构的改变(家庭人员减少、小家庭化)；(3)能源供求结构的改变；(4)水需要量增大；(5)食物供求结构的改变；(6)小轿车迅速普及；(7)作息时间、日常活动的参差不齐；(8)建筑材料供求结构的改变；(9)通讯技术



(注参照朝日新闻社编'69层力)

革新等等。

对城市化的一般看法，不论是谁，最先想到的是人口集中。此外还充满着人造的美，排列着高楼大厦，住公寓的人多；盛行冷、暖气；还有地下市街，在人工光线下生活的人的比例增多；用水泥或沥青遮盖了地表，水收支发生变化；绿地减少，或同样是绿地但其内容有了改变；车辆洪流污染了大气；大量物资或能源从市外流入城市；出现高度的技术集中。可以说是在这些条件下，人类进行着自我驯化（self-domestication）。

总之，城市是文明开化的象征，它在功能上有若干优点和方便之处，但同时消极的一面也有所扩大。有关城市的面貌问题，诸如规模多大，容纳多少人口最合适；城市里的绿地标准；对精神卫生方面有益，对灾害也有强大抗拒力的城市该是什么样等等，这一类现代性问题都正在展开讨论。按日本有关城市化基本条件——人口集中的资料，现在人口 10 万以上的城市分布如图 1.1，城市人口的变迁如表 1.1。

Montefiore (1970)[2] 估计现在 5 人中有 2 人住在城市。据联合国科教文组织推测，到 2000 年，5 人中要有 4 人住在城市。Montefiore 还根据对城市机能的考查，认为城市是“交流的场所”（Communication），并且列举三个城市要素，即大厦、市民和复杂的活动。而且城市还常常呈现这样的特征：虽然是同样的市民却没有组织共同体；高楼大厦里也有贫民窟。

表 1.1　城市人口的变迁　　（单位：千人，%）

	1920 年	1935 年	1955 年	1960 年	1965 年	1969 年
全国人口	55,319	68,662	89,276	93,417	98,275	102,747
城市人口	10,020	22,582	50,288	59,333	66,919	72,453
城市人口所占比例	18.1	32.9	56.3	63.5	68.1	70.5

注：1. 根据总理府统计局《国势调查》。
　　2. 根据 1969 年自治省行政局《住宅原始登录人口》。

纽约市长 Lindsey (1973)[3] 与 Montefiore 抱有同样趣旨，对美国人口作了估计，指出现在美国全国人口的 70% 为城市人口，预计到本世纪末将达 3 亿人口的美国人，要有90%住在城市。因此，他强调只有城市是我们的命运，才是我们的未来。但他也悲叹美国的城市成了贫困和种族问题集中的场所。这种情况各国可能稍有不同。

在世界大城市会议上，日本的东京都知事美浓部(1973)[4]对东京的城市问题分别论述了新老两个问题。老问题就是在十九世纪西欧业已解决的，或近于解决的古典问题，即河流污染、公园不足、住宅问题等等。与此相对照，新问题则指的是汽车排出废气、包括塑料在内的废弃物的增加、多氯联苯(PCB)等有害物质处理等等。对这些问题需要制定市民生活的最低标准 (civil minimum)。

以上是根据现实的城市的市街化、人口和建筑的密集为基础来看待城市化的。社会学者更概括地把这些叫做生活的城市化，并认为闲散的农村也存在城市化现象[5]。著者认为虽然可以作这种扩大的思考，但本书要以城市市街化地区的各种现象为中心进行探讨。掌握这些现象是可以将城市和农村大致加以区别的。但是即使区分开来看，城市实际上也不是一个独立性单位，倒不如以生态系统的立场去掌握包括城市和农村在内的广域性的单位才更合适[6]。这一点作者以前业已指出过。

也有象伦敦和维也纳那样的用绿化地带围起城市以将城市和农村分开的。但即使从形态上、空间上分开了，实质上也不是各自孤立的。城市和农村的结合处既有物理方面的联系，也有经济方面的联系，但决不是连续。另一方面城市又是开放体系，通过公路、铁路、飞机以及通讯等交通手段以及被污染的空气和水的进出、人和物的进出，同周围发生联系。

从这种观点出发，Perloff(1968)[7]在扩大天然资源概念的同时，提出把城市看作是一个高度联系的亚系统(Sub-System)的看法。即其某一部分出了毛病，直接影响其他部分；某一部分得到了改善，结果其他部分也会因而得到改善。根据这种城市亚系统的说法，才能理解城市(city)、大城市(metropolis)、大城市带(Megalopolis)的提法。大城市带是法国地理学者Gottman(现牛津大学教授)提出的新概念(1961)[8]，是针对从波士顿经纽约到华盛顿的大城市相连接的那样的城市化地带而命名的。这种情况的出现，是由于工业化而使大城市化达到顶峰。

其后，城市化告一段落，开始向超工业化社会的方向发展。即，开始出现难以忍受人口密度过大而要求统一规划的大城市的思想，富裕的人们向郊外或人口密度低的城市迁移，这就是美国的现状。今天的纽约，富裕的人搬到郊外，贫穷的人向市内集中，各种问题就发生在那里。

日本60年代初，丹下健三氏曾提出过东海道大城市带的设想，但到60年代后期情况为之一变。日本经济的高度发展受到批判，在东京、大阪等大城市由于人口集中和过密而带来的弊端已历历在目。从农村的角度看，城市侵犯了农村，城市的势力圈(urban shadow)[9]，即城市的侵入对周围农村的影响很大，农用地支离破碎(sprawl)就是一个问题。

城市不是一个独立的单位这一事实，根据吉良龙夫(1973)[10]以下的意见也可以清楚地加以了解。吉良认为，“在单位土地面积的动物量(包括人类)方面，没有象城市那样密集的生态系统。城市里那点极少量的植物所生产的有机物，作为城市消费者的生活能源几乎无济于事，一切生活能源都是从市外以食品、成品、原料的形态运进来的。为生产大阪市300万人所需要的最低限度的热源(谷物)和动物性蛋白

质，要有大于 2 万公顷大小的大阪市区 15—20 倍左右的农地面积。大阪府的面积为 18.5 万公顷，所以仅从食物方面来考虑，为支持大阪市就要有与相当于大阪府几倍的纯农田地区相结合的流通系统作为前提”。

对于城市要从机能和结构两个方面进行研究。美浓部都知事在世界大城市会议上发表的主要演讲(1972)[11]对此作了概括的说明。即所谓城市是政治、经济、情报等机能的集中，成为各国文化的象征；但技术进步促进了环境的破坏，本来是文化象征的大城市成了不文明、不方便的地方，损害着市民的健康，甚至出现了到下一世纪也难以恢复的恶劣影响等情况。在那里，可以说正在变为住宅难、交通难、缺水、贫困、犯罪、疾病、灾害等集中的场所。

具有这种正反两个方面的城市，对在那里生活的生物和人类将有些什么样的影响呢！

第 2 章　与生物有关的城市环境的特征

2.1　关于城市气候

地球上的气候因为人类的活动在发生变化，这在今天已为人们所公认，而最早证明这一点的就是城市。在欧洲从十七世纪就已经注意到了（Kratzer，1937）[12]。

在日本也有很多对东京等大城市及其他中小城市气候所作的研究。从东京都一月份最高气温的月平均值看，从观测开始的 1876 年到 1950 年的 75 年间，平均上升 3.0℃，其中 1921 年到 1950 年的 30 年间平均上升 3.2℃，1951 年到 1960 年的 10 年间平均上升 4.2℃（吉野，1972）[13]。

出现这样的气温上升，即便水蒸汽的绝对量相同，城市里的相对湿度也要降低；何况因城市化，不透水地区扩大了，排水设备完整了，城市里的水蒸汽绝对量本身也在减少，这就出现了干燥化的倾向。东京年平均相对湿度，十九世纪末是 73—77%，到了二十世纪干燥化已很明显，1921—1950 年的平均值是 72.1%，1951—1960 年的平均值为 70%（吉野，1972）[13]。

雨量虽没有很大变化，但一天内 0.1—1.0 毫米的小雨日数似乎是明显地增多了。东京都内 35 天，郊外 25 天，东北郊 15 天，以至相差 20 天（吉野，1972）[13]。

象这样城市中心地区的气温高于周围地区以及城市地区多雾等情况，从 30 年代就已经有所觉察（吉野，1957）[14]。30 年代以后，城市发展特别迅速，研究城市气候出现了高潮，提出了形成城市气候的主要因素。即，一方面是因为城市覆盖

状况的改变(大后、长尾，1972)[15]，即建蔽度*在增大；另方面是因为绿地面积减少、道路铺装率增加、覆盖物性质变化、城市河流的水量、形态、污浊等的变化。

接着，又提出了城市人类活动增长对城市气候的影响，如人口增加；能源用量激增(电力的需要、使用石油和煤的火力发电和煤烟)；夏季用冷却水、冷气等进行排热；运输量增大汽车排气引起的高温化；被污染的大气的蓄热作用；因污染引起的日照量降低(严重时比郊外低 45—50%)等等。

图 2.1 是将城市气候结构（表 2.1）的一部分所作的模式(Landsberg, 1972)[19]。该图是夜间城市和郊外的大气循环的模式图（空气清新，无风时），图上显示市区的所谓热岛（heat island）状态，从周围的田园地区吹来了田园的微风（Country breeze），在城市上空则出现有逆温层（inversion layer）。这种热收支的变化是城市化而出现变化中的最明显的现象。

田园地区地表疏松，有时土壤表面湿润，热传导率也低，有较高的反射率（albedo）。但由于城市化这部分地表变成不透水表面（inpermeable surface）。这种不透水的表面热传导率高，而反射率一般很低，所以辐射热的吸收率高。另一方面，雨水迅速流失，蒸发量也减少，再加上反射率降低，因而热量增加。这种热由于石块、水泥、沥青及其下面的紧密坚实的城市土壤而被充分地蓄积起来。与此相反，在植物较多的田园地区，很多的辐射热被反射，在土壤中蓄积较少。因此，在城市，热收支向盈余方面发展。

这种热岛现象，在一个孤立的建筑物上也很明显。象图 2.2 (Landsberg, 1972)[19] 所表示的，在周围铺装的地面上修

---

* 建蔽度：在一定面积上建筑物覆盖的比例称为该面积的建蔽率。建蔽率和建筑物的容积率综合在一起称为建蔽度。——译者注

表 2.1 与农村地区相比较的城市气候特征[1)]

(Landsberg, 1962[16]—井関1973[17])

气候要素	与农村地区的比较
气温	
年平均	高 1.0—1.5°F(0.6—0.9℃)
冬季最低	高 2.0—3.0°F(1.1—1.7℃)
相对湿度	
年平均	低 6%
冬季	低 2%
夏季	低 8%
尘粒	多 10 倍
云雾状况	
云	多 5—10%
雾、冬季	多 100%
雾、夏季	多 30%
辐射	
在水平面上的总量	少 15—20%
紫外线、冬季	少 30%
紫外线、夏季	少 5%
风速	
年平均	低 20—30%
剧烈的暴风	低 10—20%
无风日	高 5—20%
降水量	
总量	多 5—10%
0.2英寸(50.8毫米)以下的天数	多 15%

1) 此表制作参阅了很多文献。Wagner (1971)[18] 等也有过详细论述。

建的砖瓦建筑物就是这样。在这里，白天日光照射之后，在砖墙上和沥青铺装的停车场上，由于白天贮存的热量，形成小的热岛。这一点，比较一下周围的空气，窗户玻璃上的空气、玻璃的表面温度以及冷却过程，其结构就清楚了。根据这一实验，白天，热向沥青铺装下面的土地的传导，晴天时为紫苜蓿

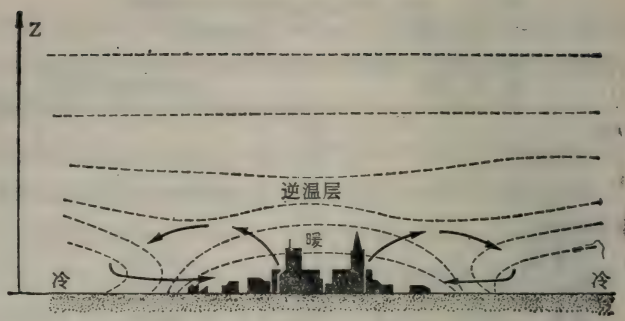


图 2.1　市区与其周围地区夜间的大气循环
虚线表示等温线，箭头表示风向，Z 为垂直方向的坐标轴（Landsberg, 1972）

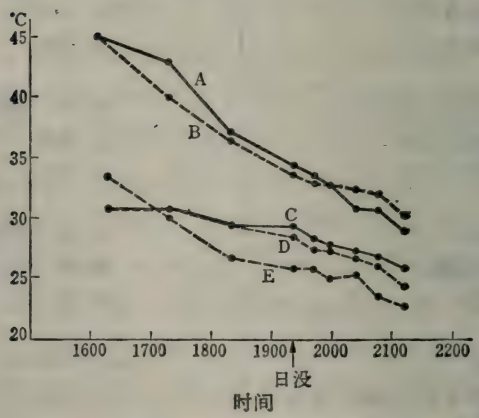


图 2.2　小气候热岛的例子
这两组曲线表示在晴朗的夏夜里：砖造建筑物的墙壁（A）和停车场铺装面（B）的辐射热；中间的两条曲线表示铺装地面的院内距地表 2 米的气温（C）和附近的窗户玻璃表面温度（D）；最下边的曲线（E）表示玻璃表面的辐射热。20 时 30 分开始降露水（Landsberg, 1972）

覆盖的土地的 2.5 倍以上。这样的一个个建筑物的热岛扩大强化，就形成了如图 2.3 那样的城市地区的热岛。

SMIC 在研究人工的地表变化对气候影响的报告中[20]，引

用了 Ryd (1970)[21] 的有关气候覆被 (Climatological sheath) 以及其中之一的气候穹窿 (Climatological dome) 的论述。在气候覆被下,降雨时有形成雨影 (rain shadow) 的; 有改变风

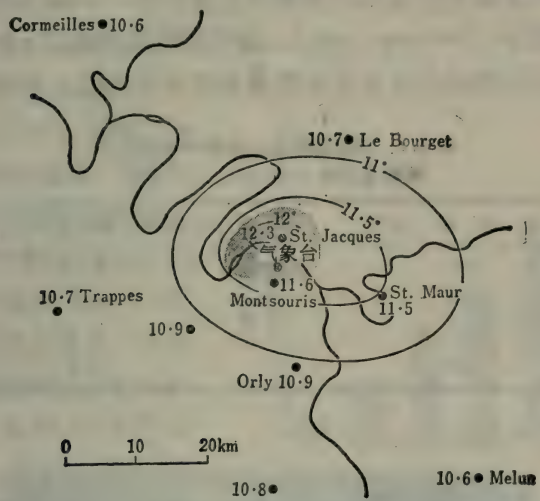


图 2.3 巴黎市区的热岛,用年平均气温(℃)等温线表示(根据 Dettwiller)

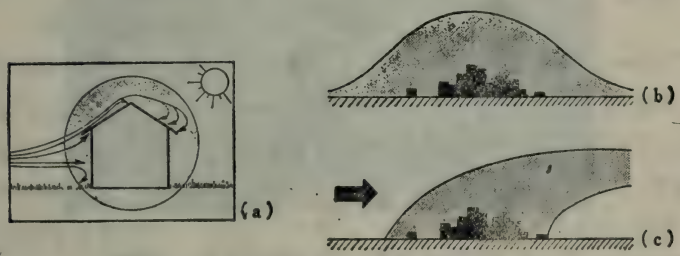


图 2.4 气候覆被和穹窿 (SMIC, 1971)

(a) 一个建筑物周围的气候覆被

(b) 城市的气候穹窿

(c) 刮局部性风时,市区的热和污染的空气呈羽毛状[穹窿被破坏的形态——羽毛状 (plume)]

的流动的;有带来温度、湿度、土壤水分的变化的等等。而且在一个建筑物周围的空间,或水池、树木、耕地的周围也能出现同样的气候覆被(图 2.4)。其中,在城市形成有名的气候穹窿是气象上的一个变态。穹窿顶上 (urban mixing height) 即所谓逆温层 (inversion layer), 这种明显的逆温层,作者在因斯布鲁克的欧洲阿尔卑斯山腰看到过 (图 2.5)。恰好 SMIC

表 2.2 因斯布鲁克上空云中水滴里的硫酸盐浓度 (Georgii, 1965)[22]

海 拔 高 (米)	硫酸盐浓度(毫克/公升)
550	0.75
850	0.7
1800	0.4
2300	0.4

图 2.5 因斯布鲁克城上空形成的逆温层,约在海拔 1000 米的地方出现 (1973 年 2 月 3 日)

的报告[20] 中有因斯布鲁克上空云中水滴内的硫酸盐的浓度,因此,将表 2.2, 和图 2.5 合起来研究是很有意义的。

2.2 关于城市的水

城市化的一大特点是由于建筑物或地面铺装等而扩大了不透水地区。根据从新宿到西八王子的 4×4 平方公里方格的航空照片收集整理的不透水地区和透水地区的资料(奥富、川津，1973)[23]，如图 2.6 所示，越向郊外，透水地区，即植物生长地区或可以生长植物的地区越大。这是总的趋势，但是在吉祥寺周围，在市街化进展较快的地方不透水地区所占比例为 74.6%，市街化缓慢的地区仅为 17.5%（平均为 49.3%），变动较大。

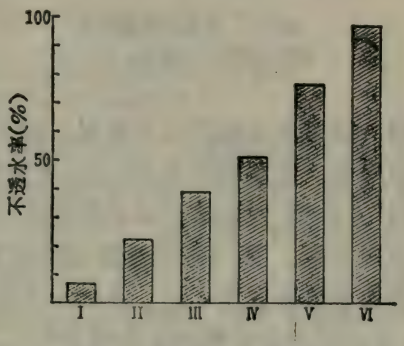


图 2.6 各地区的不透水率
各地区是按其航片 4×4 平方公里方格划分为 16 个 1 平方公里的区域进行测定的
I 西八王子 II 日野、昭岛 III 国分寺
IV 吉祥寺 V 中野、新宿 VI 日本桥

设乐宽氏(1971)[24]在《城市沙漠》的解释中，对作为城市气候明显特点之一的“排水”问题，进行了论述。即市街地区被屋顶及有铺装的道路占满了，接受降水的方式和其他地表不同。降在路面的雨水很快从表面流走，进入排水孔，房顶上的雨水也通过房上水管，再经排水孔流去。这样，即便下了雨，短时间内大部分雨水随即流失，这就是城市的地面的特征。而且与地下水之间又有建筑物或地面铺装所间隔，可以说向土地寻求水源是不可能的。一般情况下，没有可从地面蒸发的水分，因而城市干燥化有增无减。图 2.7 为东京历年湿度的变化情况。

据勘测过城市林区地下水位变动的川名明氏、相场芳宪氏(1971)[25]报道，东京都郊区的府中附近地下水位降低极其显著(图 2.8)。千叶县市原市也因新建工厂抽取大量工业用水导致地下水量逐年减少，地下水位连续下降。该市滨海地区从大量建厂的 1960 年起，地下水位开始明显降低。据观测井勘测记录，各处每年都降低 1—3 米。这个以“上总渠”发源地而知名的地区，市内水井，自海岸地区依次出现干枯。那一带自然涌出的地下水量一天约为 3 万吨，而抽取水量接近其 5 倍，为 14.3 万吨，地下水明显地急剧减少(水利科学研究所调查资料)[26]。

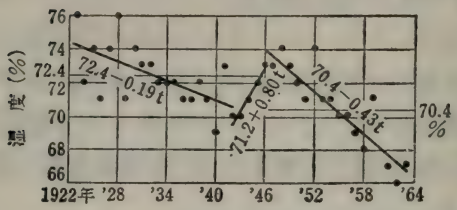


图 2.7　东京的湿度变化
(荒川原图——设乐，1971)

多摩丘陵的大栗川流域，地处多摩新市区的南部。这一流域的 26 平方公里地区，自国际水文学 10 年计划(IHD)开

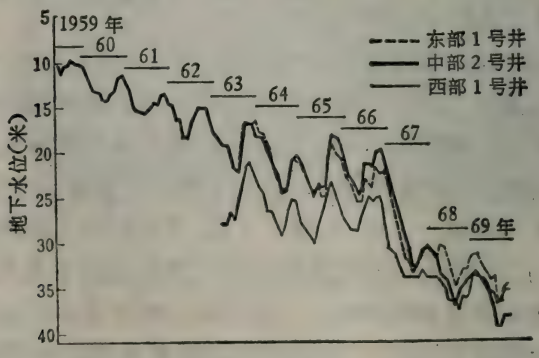


图 2.8　府中市地下水位的变化　　该地下水位为水源井停止抽水后立即测得的水位

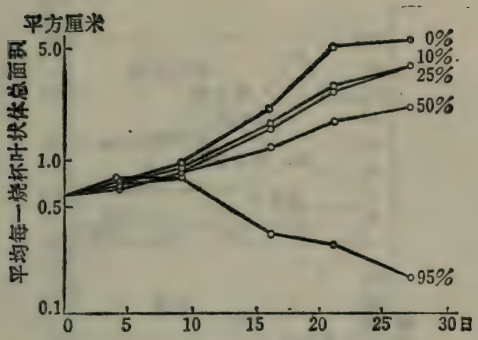


图 2.9(1) 用蒸馏水按各种比例稀释雨水观察青萍生长的实验(%：雨水占的比例)

始以来，就进行了水循环过程的研究。在这里相继设置了雨量计、河川水位计、地下水位计，收集了有关降水量、流量、地下水位变动的资料（市川，1972）[27]。从这些资料可以看到，城市化带来的不透水地区的扩大，使河流的流量及高峰流量有所改变。到达高峰流量的时间提早到来，1968 年是降雨开始后 5.5 小时，1971 年则为开始后的 2 小时。而且衰减速度也变快：到达作为衰减率变换点的基础流量（base flow）的时间，1968 年为 12 小时，1971 年为 9 小时。

测定雨水化学成分的工作以往也曾进行过（丸山、岩坪、堤，1965[28]，岩坪、堤，1967[29]），最近还特意进行了城市的雨水对生物有何影响的研究（佐藤，1972）[30]。佐藤治雄用不同浓度的雨水养植青萍（*Lemma paucistata*），获得如图 2.9 的结果。其损害的表现形式，不仅是抑制整体的叶状体面积的增加，新生的仔叶状体也变小，上表面呈现肿胀的异常形态，构成植物体的叶状体的数目也少。根的生长很不好，雨水浓度大时根完全消失。然而，也有一些地点（如南恩贺岛）反应很不一样。以上表明雨水是阻碍生长的原因。以后通过改变 pH 值的一些培养实验，表明培养液的 pH 值高低不是妨碍生

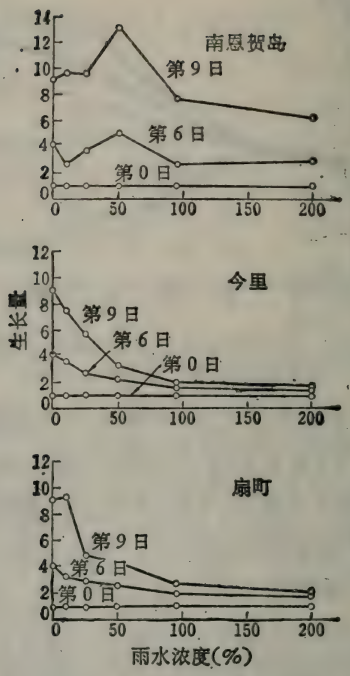


图 2.9(2) 雨水的浓度和青萍的生长量
pH 值调节在 5.1，以实验开始时(第 0 天)叶状体面积为 1 所作的比值(佐藤，1972)

长的主要因素。进而了解到阻碍青萍生长的是一些加热到100℃既不挥发、也不分解、能用活性炭吸附的物质，铜、锌等或许即其中之一。现已阐明液体 pH 值不同，上述物质阻碍生长的表现方式也不同。

2.3 关于城市空气

东京是我们现在的主要研究对象。图 2.10 是这一城市近年来因使用石油而发生的空气污染的增加情况（东京都，

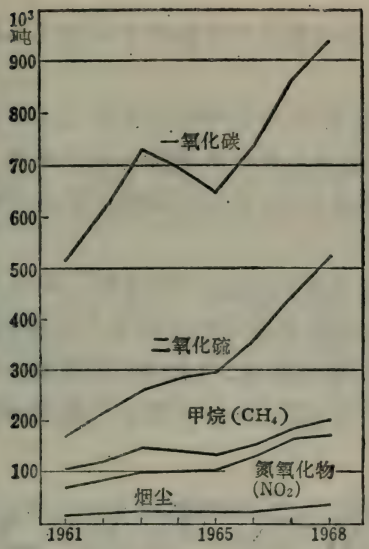


图 2.10　因消费石油而产生的空气污染物质推定值的增长趋势(东京都，1971)

图 2.11　东京都内二氧化硫的浓度(根据 1965—1968 年间地表测定值的平均数)(东京都，1971)

1971)。图 2.11 是对最近东京都内不同地区二氧化硫浓度的比较。

另一方面,在 1972 年以科学技术厅为主对关东地区,特别以东京为中心的东京湾周围海陆风系区域做了调查,其结果正如图 2.12 所表示的,呈现出相当明显的封闭式构造(科学技术厅,1972)[32]。

当然,也并不是始终如此。1971 年一年中 MMD(最大混合层高度)在约 1500 米以下的日数为 186 天(59.9%),其中除去被强风破坏(平均风速>4米/秒)及降雨中断(日雨量>2毫米/日)的 110 天(30.1%),下层大气呈现封闭结构的总日

图 2.12 封闭式构造下(大气的最大混合层高度 1000 米)的东京湾海陆风系区域(灰色表示划分的地区)和超过生物耐性限度指标的地区(印点的地区)(科学技术厅, 1972)(大气最大混合层高度在 1000 米以下的关东以及福岛县的范围和封闭式构造下被东风及千叶县东南风所缩小的海陆风系区域)

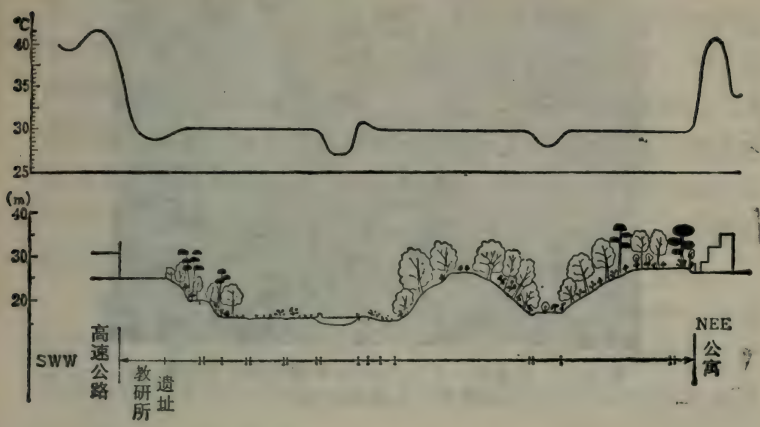


图 2.13　自然教育园及其周围的地表温度，下边的截面图和上边的温度曲线是相对应的

数为 76 天（20.8%）。

作为我们主要研究对象的目黑区自然教育园就处于这一封闭式构造之中。利用直升飞机用红外线放射温度计从 500 米上空横越该区对地表温度进行测量，其结果如图 2.13 所示（三寺等，1972）[33]，从自然教育园外的市街区刚一进入植物茂盛的自然教育园，就发觉温度明显下降。如果是大晴天，相差 20—30℃ 是很平常的。

不论是从上述事实看，或根据对流作用来推测，都能清楚地了解到市区的污染物质必然被带进这一绿色植物繁茂的地区。使人们考虑这一问题的起因，是自然教育园外缘的首都高速公路 2 号线旁建成的高 37 米的白金管排气塔（图 2.14）。这一排气塔是要使高速公路下面的都内辅助公路17号线的汽车废气扩散出去。1966 年 17 号线通车后，与自然教育园有关的研究人员对该公路汽车废气的动向非常关心。针对这种情况，在东京都修建了这一巨大的排气塔。修建这个排气塔

图 2.14　白金管巨大排气塔(自然教育园在其右侧)
(根据自然教育园的资料)

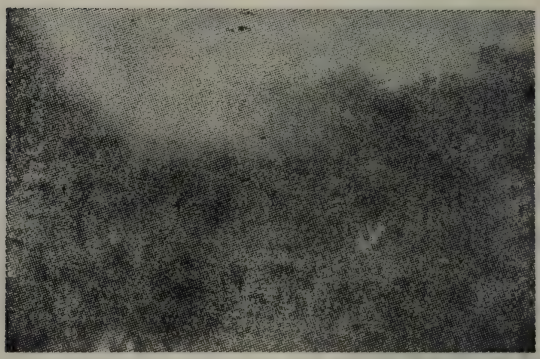


图 2.15　用发烟筒进行输送污染物质的实验，污染物质停滞在潮湿地带的周围(根据自然教育园资料)

是出于把污染物质向高空吹散的考虑，但实际上仍然在担心污染物质进入自然教育园内。

为研究这个问题，在园内燃烧发烟筒观察烟流，还进行风洞实验。结果是，风弱时因为对流作用，污染物质由市街区被送到园内；风强时又因为吹积现象，污染物质也同样被带进园内。吹进园内的污染物质，在风弱时停留时间较长，不易扩

散；有风时也因风向不同而有长时间停留的情况。温度相对稳定的园内潮湿地带是污染物质停留的较明显的场所，进入林内的污染物质也不易除掉（图 2.15）。在园内，因道路或其他条件形成风的通道，沿着风道的树木长势衰退。这一现象通过简单的风洞实验也证实了。但另一方面，如同 Sadeh 等（1971）[34]的研究一样，由于树干形态等等的不同，风速和乱流的强度受到很大影响，这种情况在实验中也得到了证明。

我们研究组的本多（1972）[35]曾在以明治神宫为中心的地区进行了同样的研究，并作图（图 2.16）表示了神宫附近和其他地区的二氧化硫的量，与自然教育园相比污染物质流有所

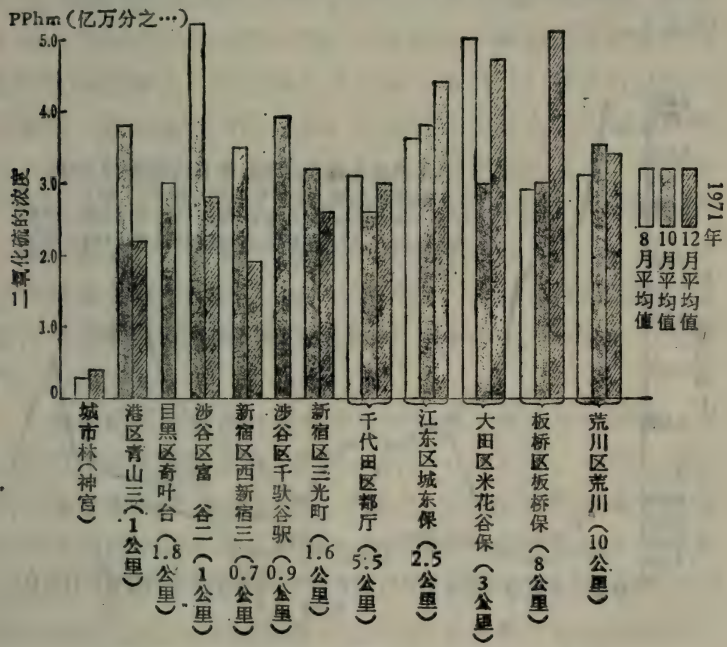


图 2.16 明治神宫外苑内部和周围市街地区的二氧化硫浓度的比较（本多，1972）（ ）内的数字为距神宫的距离

不同。即，林内比林外的二氧化硫浓度低得多。通过这些资料，比较一下自然教育园和神宫的林地，了解到在城市树林中有如明治神宫那样污染物质不易进入的；有象日比谷公园那样容易进入也容易出去的；也有象自然教育园那样的易进而不易出的。我们觉得，这种差别或与林地大小有关，或许是因为树林的分层构造，林缘部分由矮树和藤本植物所构成的群落形态（mantle community），或更外缘的草本群落（sleeve community）等的形成状况，或落叶树混合的比例等所引起的。神宫林苑中央部分二氧化硫浓度很低，而且一天中变化幅度也小(图 2.17)。所以这片树林对污染物质显然起着障壁作用。在该林苑的外面，二氧化硫浓度的变动幅度则有 4—5 倍之大。

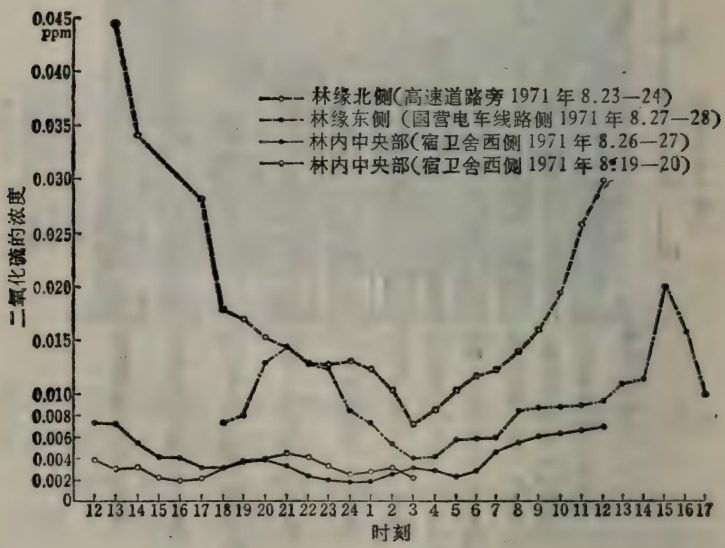


图 2.17　明治神宫的林苑内部和林缘二氧化硫浓度在 24 小时内的变化(本多，1972)

2.4 关于城市土壤

由于城市化而被铺装地表所覆盖的土壤就不用说了，就连城市化后仍裸露的土壤，其物理、化学及结构等各种性质都有改变。在机械组成方面，如团粒结构；在化学方面，如 pH 值；在结构方面，如因剥离表土等而改变土壤层次；以及微生物区系等，都反映着城市化的影响。

在美国发现某种土壤含有大量有机物，pH 值低，因而有吸收一氧化碳的能力。30℃ 时达到最高吸收水平，但用蒸气灭菌，或施加抗菌素和 10% 盐水，使之具有嫌气性条件后，吸收能力则受阻碍。现已了解，土壤吸收一氧化碳是因有好气性微生物的缘故。据报导已成功地分离出 16 种具有从空气中除掉一氧化碳能力的霉菌。另据报道美洲大陆土壤表面吸收一氧化碳能力达 6 亿吨以上。这个数字是全世界一氧化碳产生总量的 3 倍。此外，还判明土壤也吸收乙烯、二氧化硫、二氧化碳等。据推测，美国每年散布的 1500 吨乙烯，约二分之一是由土壤中的微生物给分解掉的，并且土壤还能通过化学作用处理二氧化硫、氮氧化物等（Chemical week 一日经商行，1972）[36]。

我们研究组曾通过城市土壤和自然土壤的对比研究，探讨城市化对土壤的影响（浜田，1972—1973）[37]。城市化地区的土壤形态多样，有的被剥去了表土，心土露在外边；有的象路旁树木周围土壤那样仅仅是土壤物质的堆积。经过人为活动的生土，是城市土壤的一大特点。从郊外的府中经中野直到市中心的九段，搜集路旁树木的土壤，用稀释平板法和稀释法调查细菌的数目（包括细菌总数和革兰氏阴性菌数）。结果，比起自然教育园的土壤，细菌总数和革兰氏阴性菌数虽低不

了多少，但中野和九段的土壤霉菌多。当然应该是酸性条件下霉菌多，但总的说来 pH 值却是高的。就形态方面看，土层无分化，含炭量低。根据这些情况说明与这一地区的火山灰土壤不同，具有相当明显的特异性质。

这样，同完全城市化的土壤相比，自然教育园、明治神宫林苑的土地同自然土壤很相近，土壤剖面也发育良好，pH 值明显属于酸性。细菌总数和革兰氏阴性菌之比，明治神宫为 41:1，自然教育园为 7—19:1，两者虽有差别，但都很接近于自然土壤。这类革兰氏阴性菌比起革兰氏阳性菌来，抗机械性破坏能力弱，组成细胞壁的氨基酸种类繁多，脂质也丰富，是属于对环境变化敏感的类群。由于测验的土壤样品尚少，仅从这些微生物区系还不足以说明土壤城市化问题。

第3章　城市环境下的生物群落

3.1　城市园林生态系统的动态——主要是自然教育园内的动植物的变化

我们开始进行“关于城市生态系统特性的基础研究”(文部省特定的研究课题)时，选自然教育园做为主要研究地点。此外，还选择了明治神宫等东京都内的城市园林、多摩丘陵、千叶、市原地区、静冈地区、清水地区等以探索大、中、小城市的各种问题。

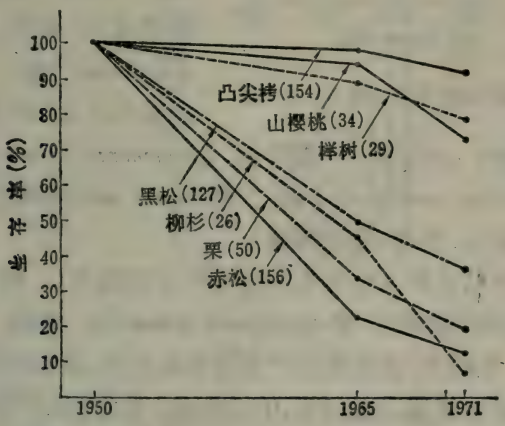


图3.1　自然教育园内主要树种的生存率(1950—1971的21年间)，以1950年作为100(　)内为采样数

进行这项研究需要掌握生物群落的动态，但几乎没有一处具备这方面的长期性资料。只有自然教育园，开园以来我们就连续进行了动植物区系的调查，特别是1950年后的资料

很完整，足以与现状作对比。象这样能将 20 年以上的资料做对比的地方，据我们所知，除自然教育园外再也没有了。因此，就以这里的 1950 年后的资料为中心进行比较，并以千叶县的清澄山及其他自然林地作为现在的对照地区。

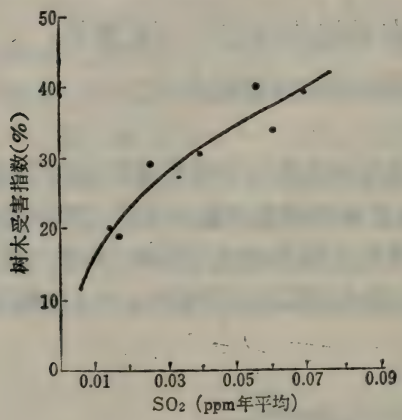


图 3.2　东京都内的树木受害和 SO_2 的关系

自然教育园面积虽仅 20 公顷，但其中有各种各样的植被类型，又因尽可能地避免了人工的影响，所以作为残留在城市中的自然而具有很大特色．林地有凸尖栲（*Castanopsis cuspidata* var. *sieboldii*）林（接近顶极群落）、赤松（*Pinus densiflora*）林、枹树（*Quercus serrata*）林、光叶榉（*Zelkora serrata*）——糙叶树（*Aphananthe aspera*）林、灯台树（*Cornus controversa*）林、立柳（*Salix subfragilis*）林等，此外，还有草地、池塘、湿地等等。

1950 年以后树木生存率的变化可参阅图 3.1。树木演替过程中所出现的赤松、栗（*Castanea crenata*）、黑松（*Pinus thunbergii*）等树木，首先受到严重损害而枯萎，栲树的枯损株虽少，但长势在衰退，而枞树（*Abies firma*）和柳杉（*Cryptomeria japonica*）等早在 1950 年以前就已受害。一般认为这些树木在二氧化硫的平均浓度 0.008ppm 时就枯萎。二氧化硫年平均浓度一超过 0.01ppm 时，植物开始受害，达到 0.09ppm 时大约 50% 的植物受害（图 3.2）。同时，这种受害因树种而异，赤松在 0.02ppm 时 50% 枯损，黑松在 0.04—0.05ppm 时同样有 50%

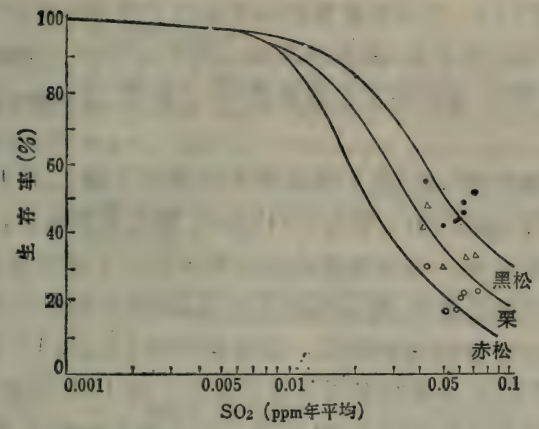


图 3.3 自然教育园的树木生存率和 SO_2 的关系。1937—1938 年,年平均为 0.005ppm; 1963 年,年平均为 0.045ppm

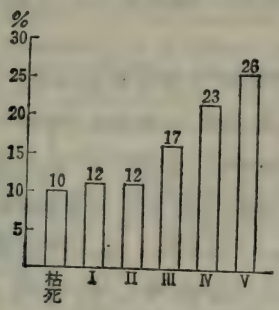


图 3.4 自然教育园内凸尖栲大树(214 株)健康度的比例(奥田, 1972)

等级:

V 级: 树冠完整枝叶茂盛,叶存率为 80—100%

IV 级: 叶存率为 60—80%, 新枝末梢稍有枯死

III 级: 叶存率为 40—60%, 树枝枯死已波及到大枝。树冠由树干直接生出的再生枝补偿

II 级: 叶存率为 20—40%, 半数以上的大枝枯死。根部出现空洞,易被大风吹倒。阳光直射下的树皮剥落,有菌类(猴头菌 (*Hericium erinaceus*)) 附生

I 级: 叶存率为 10—20%, 主干已无叶,上部枯死。叶层几乎仅见于再生枝上。从根部附近长出很多再生枝

受害(图 3.3)。在自然教育园内正是由于经过这样的历程,使1950 年前后的赤松-黑松林向着山桐子 (Idesia polycarpa) 林演替, 黑松-赤松林正在向着黑松-上水樱 (*Prunus grayana*) 林演替。

二氧化硫的浓度,东京都很早就进行了测定,1937—1938 年为 0.005ppm, 1963 年为 0.045ppm, 情况逐渐恶化, 但最近几年稍有改善。在自然教育园对树木进行了逐株调查,对每株的动向都很清楚,所以明显看出近 20 年间树势在衰退。按树木健康度分为五个等级。调查的结果 (奥田, 1972)[39], 如图3.4 所示,已经有很多树木正在衰退。除 10% 已枯死外,树势几乎没有恢复希望的 III 级以下的占相当比例。有一种看法,认为园内栲树的枯萎是由于树龄的缘故,但实际上与树龄的关系不大,因为枯萎的情况有地点上的差异,反映环境恶化是主要原因。

园内的凸尖栲林被认为是接近面槠 (*Quercus myrsinaefolia*) 群落分布区的紫金牛 (*Ardisia japonica*) 一凸尖栲群落的短尖栎 (*Quercus acuta*) 亚群落一个片断。对该凸尖栲林的调查,特别着重在与森林衰退相关联的树种组成的改变上(图 3.5, 奥田、矢野, 1972)[40]。凸尖栲的自然林是由珊瑚木 (*Aucuba japonica*)、紫金牛、凸尖栲、女贞 (*Ligustrum japonicum*)、八角金盘 (*Fatsia japonica*)、阔叶土麦冬(*Liriope platyphylla*)、常春藤 (*Hedera rhombea*)、冬青(*Ilex integra*)、日本柃 (*Eurya japonica*) 等 30 种左右的常绿植物所组成的,但其中生长着很多常春藤、青篱竹 (*Arundinaria chino*)、紫珠 (*Callicarpa japonica*)、荚蒾 (*Viburnum dilatatum*) 等林缘植物以及木兰 (*Magnolia kobus*)、糙叶树、灯台树 (*Cornus controversa*)、枹树 (*Quercus serrata*) 等次生林的成分。形成这种状况的原因被认为是园内的凸尖栲林的轮廓细长以及过

凸尖栲林的衰退

凸尖栲林的构成树种	凸尖栲、女贞、珊瑚木、山茶（*Camellia japonica*）、短尖栎（*Quercus acuta*）、南五味子（*Kadsura japonica*）、紫金牛、红苞鳞毛蕨（*Dryopteris erythrosora*）、常春藤、冬青、阔叶土麦冬、舟山新木姜（*Neolitsea sericea*）、面槠（*Quercus myrsinaefolia*）、七姐妹藤（*Stauntonia hexaphylla*）。
侵入的林缘植物	海州常山（*Clerodendron trichotomum*）、盐肤木（*Rhus silvestris*）、南蛇藤（*Celastrus orbiculatus*）、假菝葜（*Trichosanthes cucumeroides*）、牛尾菜（*Smilax riparia* var. *ussuriensis*）、野山药（*Dioscorea japonica*）、悬钩子（*Rubus palmatus* var. *coptophyllus*）、蛇葡萄（*Ampelopsis brevipedunculata* var. *maximowiczii*）、野梧桐（*Mallotus japonicus*）、野葡萄（*Vitis thunbergii*）、犬樱（*Prunus buergeriana*）。
侵入的林缘植物（喜强光性的种群）	辽东楤木（*Aralia elata*）、绞股兰（*Gynostemma pentaphyllum*）、小构树（*Broussonetia kazinoki*）、箬竹（*Sasa japonica*）、葛（*Pueraria lobata*）、蜀羊泉（*Solanum lyratum*）、洋种山牛蒡（*Phytolacca esculenta* 的近缘种）、何首乌（*Polygonum multiflorum*）、乌蔹莓（*Cayratia japonica*）。
或多或少生长在凸尖栲林的次生林构成树种	糙叶树、上水樱、爬山虎（*Parthenocissus tricuspidata*）、青篱竹、万寿竹（*Disporum sessile*）、枹树、木兰、紫珠、灯台树、山桑（*Morus bombycis*）、求米草（*Oplismenus undulatifolius*）、荚蒾、木通（*Akebia quinata*）、山桐子（*Idesia polycarpa*）、钝齿冬青（*Ilex crenata*）。

图 3.5　随着凸尖栲的衰退，凸尖栲林树种组成的变化
（奥田、矢野，1972）

去人为的影响和高层树的衰退等（奥田，1965）[41]。

在其他林内，过去记有资料的黑松一赤松林和灯台树林等（沼田、手塚，1966[42]，1970[43]）所表现的变化，如表 3.1 与表 3.2（大贺、矢野、沼田，1972）[44]。从表可以看到特别是灯台树林作为城市林是成问题的，但在教育园内却长得非常繁茂。灯台树并不是什么稀有树种，但由它占优势的灯台树林却不多见。根据东京近郊高尾山各地的调查报告（矢野、大贺，1972）[45]，灯台树林出现在道路附近和一些崩塌的地方，这似乎意味着是受人类影响而形成的森林。就教育园内的灯台树林来看，究竟是在湿地上形成的正常演替系列（Orthosere），还是作为城市林的一种偏向演替系列（Plagiosere），这一点还不清楚。从这个灯台树林的组成来看（表 3.2），次生林的要素极多。可能与赤松林、黑松林、枹树林、鹅耳枥（*Carpinus tshonoskii*）林等属于同一个演替阶段。但以后能否通过桢楠（*Machilus thunbergii*）林而演替到凸尖栲林，目前，还没有结论。

在灯台树林、糙叶树林和其它园内树林的林下植物中，最多的是珊瑚木。珊瑚木特别多的原因虽进行了研究但迄今还不清楚。为进行对比，从东京都内珊瑚木繁茂处调查的结果（铃木、矢野，1972）[46] 来看，这种植物在采伐迹地、林缘部和光线从侧面射入的常绿林下，落叶林下，日本山毛榉（*Fagus japonica*）、钝齿山毛榉（*Fagus crenata*）等林下以及柳杉、花柏（*Chamaecyparis obtusa*）的造林地上都有，分布范围极广。从相对照度来看，珊瑚木的分布范围也很大，包括从极暗的 1—2% 到 30% 多。从土壤的含水率来看，园外多长在 10—70% 的地方，而园内以 90—130% 很湿的地方为多。珊瑚木在自然林里本来就很多，只是在数量上园内多得稍有点异常吧。

表 3.1 自然教育园内的黑松、赤松林的演变(限于木本层 以 10×10 平方米 ×3 进行的统计)(大贺、矢野、沼田，1972)

种 类	1952 年		1964 年		1972 年	
	株数	BA*	株数	BA	株数	BA
黑松 (*Pinus thunbergii*)	13	7548.0	9	7084.0	8	6585.7
赤松 (*Pinus densiflora*)	5	2715.3	1	878.0	1	987.8
上水樱 (*Prunus grayana*)	1	907.5	7	1000.0	8	1741.3
柳杉 (*Cryptomeria japonica*)	1	176.6	1	199.0	—	—
无柄叶栎 (*Quercus sessilifolia*)	1	153.9	—	—	—	—
灯台树 (*Cornus controversa*)	—	—	7	502.0	5	522.8
野梧桐 (*Mallotus japonicus*)	—	—	2	267.0	—	—
木兰 (*Magnolia kobus*)	—	—	1	70.0	1	127.6
黄檗 (*Phellodendron amurense*)	—	—	1	70.0	—	—
糙叶树 (*Aphananthe aspera*)	—	—	1	23.0	—	—
柃木 (*Eurya japonica*)	—	—	—	—	5	253.0
凸尖栲 (*Castanopsis cuspidata* var. *sieboldii*)	—	—	—	—	4	129.1
舟山新木姜 (*Neolitsea sericea*)	—	—	—	—	1	90.7
短尖栎 (*Quercus acuta*)	—	—	—	—	1	35.8
计	21	11501.3	30	10073.0	34	10252.6

* BA: 胸高截面积(平方厘米)

表 3.2 自然教育园内灯台树林的演变(限于木本层 以 10×10 平方米 ×4 进行的统计)(大贺、矢野、沼田，1972)

种　　类	1952 年		1965 年		1972 年	
	株数	BA*	株数	BA	株数	BA
灯台树 (*Cornus controversa*)	15	9870.9	14	13384.1	11	9359.0
糙叶树 (*Aphananthe aspera*)	1	572.3	1	877.8	1	826.6
上水樱 (*Prunus grayana*)	—	—	1	50.2	2	137.8
山桐子 (*Idesia polycarpa*)	—	—	—	—	2	968.4
木兰 (*Magnolia kobus*)	—	—	—	—	2	54.0
常春藤 (*Hedera rhombea*)	—	—	—	—	2	32.7
朴树 (*Celtis sinensis*)	—	—	—	—	1	14.2
南五味子 (*Kadsura japonica*)	—	—	—	—	1	1.0
计	16	10443.2	16	14312.1	22	11393.7

* BA: 胸高截面积(平方厘米)

此外，在园内森林中，象棕榈（*Trachycarpus excelsa*）之类的栽培种那样的木本伴人植物（ruderal plant）分布广泛（小滝、岩濑也曾作过调查，1966）[47]。其原因之一是城市森林靠近住宅区，通过鸟类的传播，从而使数量多、分布广。只要观察一下现在园内珊瑚木的丛生地，就能发现其果实中葫芦型的居多，95%以上长有虫瘿。从这一情况看，已经超出了繁茂的顶峰，今后也许不会再扩展了。总之，上述珊瑚木和灯台树异常繁茂的状况，也许是城市树林的一大特色。

对于园内森林的埋土种子（buried-soil seed）以前有人作过调查（林、沼田，1966）[48]，其后又在凸尖栲林和枹树林内放置种子收集器继续进行了调查。从凸尖栲林的种子落下量（林、矢野、沼田，1973）[49]来看，因时期不同埋土种子群体的组成有很大差异，但不论何时山桐子（*Idesia polycarpa*）的种子都占压倒多数，此外，灯台树的种子也颇多。从这一点可以认为，这些埋土种子区系表明其为凸尖栲林的前期阶段。而且这次调查发现，凸尖栲的种子多为未成熟的，枹树的种子虽已成熟，但多数是被昆虫的幼虫咬伤的。尽管枹树种子落到地上的很多，但植被中枹树的幼苗却不多，也许这是因为虫咬的缘故。

在枹树林和凸尖栲林中设置的种子收集器中，也混进飞蓬属（*Erigeron*）的种子，这可能是因为在城市森林附近归化植物（naturalized plant）较多的关系。

关于凸尖栲树的健康度，已如前述。对于树叶的寿命（从展叶到落叶的时间），选各种生育状态的树木30株，自1971年以来，进行了定期的调查（奥田，1972）[50]。栲树本来就是常绿树，叶片的寿命，特别是阴生叶的寿命一般都有2—3年，但该园内，很多在一年以内就已落叶。

造成这样早落叶的原因之一是由小潜蛾属（*Elachista*）的

潜叶虫（*Elachista* sp.）造成的损害，或树叶被切叶象鼻虫（*Deporaus mannerheimi*）等咬掉了(矢野，1973)[51]。这种潜叶虫的附着率，在自然教育园是60%，而千叶县笠森寺的森林为13%，清澄的东京大学实习林为6%。看来，在自然林中虽然也有，但附着率较低。潜叶虫广泛分布而使树叶早落的情况，主要是因为城市中像燕雀（*Egithalos caudatus*）那样的以小虫为食饵的鸟绝迹的缘故。这种鸟类区系的改变与空气污染等城市环境的变化有关。

前述城市森林的衰退，直接原因似乎是由于城市化而出现的空气污染或地下水位的下降等。但实质上这些并不是直接原因，而是由于空气污染所引起了鸟类逐渐减少，因而以鸟类为天敌的害虫得以大量繁殖。这种相互制约的最好的例子就是上面提到的，即因潜叶虫而引起栲树的落叶现象，继之而来的是树势的衰退。

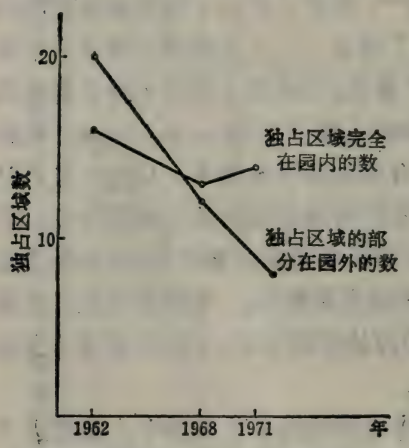


图 3.6 荏雀的独占区域数的变化。

根据在自然教育园内对荏雀（*Parus major*）繁殖的个体数目变化所作的调查(樱井，1972)[52]，这种鸟虽然在城市化的地区尚能安居，但也受到一定影响。将园内的独占区域（territory）* 绘成图，则可

* 独占区域（territory）是指定居着的单独的或复数的动物个体，不准许同种其它个体侵入其所占有的区域。——译者注

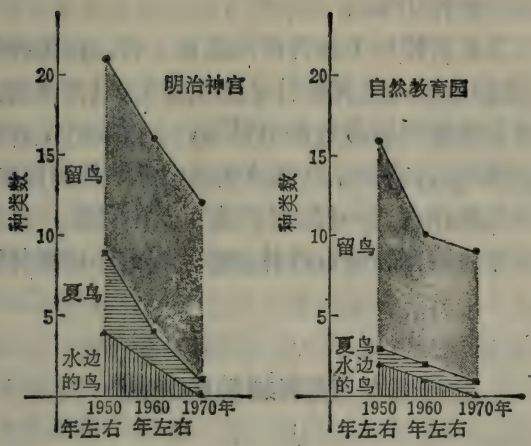


图 3.7 在明治神宫和自然教育园内繁衍的鸟类种数的变化(桜井，1971)

见到随同周围城市化的进展，独占区域的数目减少，而每一个独占区域的面积有所增大(图 3.6)。这种情况，同自然教育园内鸟群逐年单纯化(图 3.7)的现象也是一致的。自然教育园的 20 年内，鸦(*Corvus corone*)、白头翁(*Sturnus cineraceus*)、黄鸽(*Motacilla cinerea*)、绣眼儿(*Zosteropidae palpebrosa*)、山雀(*Parus varius*)和鸢(*Milvus migrans*)等都不见了，从 20 年前的 16 种减少到 8 种[乌鸦(*Corvus macrohynchos*)、麻雀(*Passer montanus*)、黄道眉(*Emberiza cioides ciopsis*)、荏雀(*Parus major*)、伯劳(*Lanis bucephalus*)、青叶鸮(*Ninox scutulata*)、雉鸠(*Streptopellia orientalis*)、小绶鸡(*Bambusicola thoracica*)]。而且，随着环境恶化现有鸟类的居住场所的环境质量也相应下降，荏雀虽扩大了一个独占区域的面积，但其中容纳的雌雄对数减少了。这种情况的发生，就荏雀来看，可以举出几个直接的原因，如因修建高速公路使自然教育园的面积减少了一些；在周围建筑了大厦和高级公寓；郁闭的

栲树林的树倒掉了等。

从自然教育园的生物群落的现象上看，凸尖栲的健康度下降，初春绿色的凸尖栲的叶子大批脱落，以及在林内珊瑚木和灯台树异常增多等等是最明显的。但实际上，在背后还是存在有上述的鸟、害虫、空气及其它生态系统的因素，它们互相错综复杂地结合在一起，才产生了上述现象。这些现象也应看作是作为整体的城市森林生态系统对环境恶化的一种对应姿态。

3.2 城市绿地的功能

随着城市化地区的扩大，不长在自然植被而长在城市中的植物比率也在增加着，因而有人（Li, 1969）[53] 提倡建立专门研究生长在城市环境下的植物的生理、遗传、生态等的城市植物学（urban botany 或 urbobotany）。

例如，树木生理学方面的研究，过去专对自然状态下森林中的树木进行研究是正确的。然而，今天城市化地区扩大了，城市的土壤和空气条件不同了；地面进行了铺装，经过铺装的地面，地下土壤的结构有了改变；以及伴随废水而来的化学物质等等，都对城市生长的树木的基质给以物理、化学的影响。在空气污染严重的城市环境中，不仅有高浓度的二氧化碳，而且还含有其它化学物质，这与自然森林中的正常空气形成明显对照。这些化学物质向空气中扩散，改变着光谱，也给树木的光合作用以很大影响。因此，城市内树木生理学的研究理应不同于以往树木生理学的研究。

城市里树木的遗传学研究，至今根本没有进行。例如 Platanus × orientalis 或 Magnolia × Soulangeana 这一类特定的杂交树种在很多城市广被用于行道树，这种落叶树以及在城

市环境下生长良好的其它树木的育种工作的开展，将成为今后的重要课题。

在城市环境下树木长势一旦减弱，就容易生病或受虫害，这种关系也是病理学方面的重要研究课题。在生态学的研究方面则有城市植被的问题。城市早已看不到植被的自然演替，构成城市植被的树木和草本植物的关系也与自然植被的情况不同。植物不仅能减少城市环境下的热污染（thermal pollution），或通过吸收二氧化碳而减少城市大气的反常变化，还能吸收一些一氧化碳以及空气中的其它污染物质。对于吸收污染物质的承受方式和受害程度等的敏感度（Sensitivity）也因植物种类不同而不同，同时这种特性还可以作为判断空气污染的有意义的标志。Li 氏还提出了诸如城市森林在美学上的价值、心理上的效应、现代城市规划以及城市森林树种的种生态学研究的必要性等的问题。

日本的市区面积为 1.8%，在那里居住着 48% 的人口，而其中三大城市区域就居住着城市人口的 50% 以上。从国际上看，人口向城市集中的速度也是很快的，地区上的不平衡又非常突出。对于这种人口过密、已达到饱和状态的城市如何继续建设，已成为当前的重要课题。

日本是个森林国家。尽管国土面积的 68% 是森林，可是每人平均仅为 0.25 公顷，与全世界每人平均 1.2 公顷相比相差很远。1970 年度的建设白皮书上指出，全国城市人口平均每人占有公园面积为 2.40 平方米，这远未达到城市公园实施法（1956 年政令 290 号）所规定的城市居民平均每人 6 平方米以上的标准。

联系以上事实，有必要研究一下关于城市植被的作用。科学技术厅资源调查会(1970)[54]对城市森林的功能和作用举出以下 6 条。下面将对此逐条进行讨论。

(1) 城市森林调节气象及气候的作用　这种作用，因森林公园、行道树、防风林等树木群的规模、种类、密度、树高等的不同而不同。林内的气候当然和林外的不一样，某一地区有林地时，由于森林形成环境的作用，可以调节周围的气象和气候。在城市，特别是因为人口过密而带来的人为的热污染问题，是可以通过林木的蒸腾作用进行调节的。

(2) 净化空气的作用　对污染的空气的净化作用是否是植物本身的功能，今天还不清楚。但是不管怎样说，由于植物的气体交换，空气中的污染物质有一定数量进入植物体内，其结果是除去了污染物质，限制了污染物质的散布，降低了污染物质的浓度。一般认为，城市森林对于城市空气中含有的SO_2、HF、Cl_2、NO_2、NO、O_3、CO、CO_2、多种碳化氢以及铅等金属的粉尘、浮游微生物等，有障壁作用。

根据测得的有关二氧化硫的资料（门田，1969）[55]，赤松、黑松、柳杉等在树叶轻度受害时，含硫量是对照区的2—4倍。在受到高浓度的SO_2、HF、Cl_2等急性损害时，这些树木的叶子就不能吸收这些污染物质；而在轻一中浓度的慢性受害时，或在遭受严重生理障碍之前，则能吸收、集聚相当数量的气体污染物质。10年生左右的黑松林(叶量1.5公斤/平方米)，6月上旬树叶的含硫量为0.1%，由于继续接触二氧化硫，8月下旬上升到0.4%。外表看不到受害，但夏季三个月中，1.5公斤树叶吸硫量可达5克，平均每天吸收50毫克。结果是在风速1米/秒时，1.5公斤的树叶完成了0.002ppm/秒的净化功能。

此外，还有尘埃状的污染物质附着在叶面上，从结果来看，也可以说是一种净化作用。我们曾在1964—1965年对千叶县市原地区的公害防护林进行过这方面的调查（千叶县林务课，1967）[56]。本多（1969）[57]调查了东京都内黑松叶面的

烟尘附着量。现在，我们的城市生态系统研究组也在进行这种测定。

(3) 防音的作用　众所周知，枝叶繁茂的密林可以隔音和吸音。不仅树木，草坪也有很大隔音、吸音作用，就象公园绿地就能将噪音发源地间隔开来、减弱噪音的效果。Cook 和 Van Haverbeke (1971)[58] 研究了防音林的宽度、高度、形状、树种构成、草地各具什么样的防音效果，发现由于上述条件不同，效果有很大差异。

(4) 防火的作用　密植枝叶茂密的高大乔木，并且栽培乔木与矮树相间的多层林，对枝叶不加修剪，可望收到防火的效果。为此，必须清除枯枝老树。一般认为，作为避难用时应有 3 公顷以上的面积，如在外围密植不易燃烧的防火树种就更为有效。

(5) 对于自然灾害的作用（防灾林）　这方面的作用，是因为 1923 年大震灾时，公园和空地发挥作用才重新受到重视的。除大地震等场合外，森林对于暴雨时中小河流泛滥或崖崩等也有防护效果，如能适当配置渗透能*高的林带就会更有效(环境情报科学，1972)[59]。

(6) 心理上的作用　城市绿地，包括栖息其间的野生鸟兽，对人类产生心理上的效应，这是人们所熟知的。特别有助于消除城市人类生活的精神压抑。只是很难定量地加以测定。

除上所述，实际上地球的绿色植物的意义，以作为第一性生产者，固定太阳能的作用为最大。把石油、煤等化石燃料燃烧时产生的二氧化碳，通过光合作用，再制成有机物质，其意义也是重大的。以上就是以城市森林为中心进行探讨时，可以了解到的种种功能。此外，现已阐明植物对污染物质、特别是对重

---

* 渗透能：指在单位时间内某一林带涵蓄水的最大能力。——译者注

金属能形成抗性但对空气污染是否也能形成抗性目前还不清楚。

据户塚(门司,1971)[61]的研究，紫苜蓿（Medicago sativa）群落在空气中二氧化硫浓度超过 0.15ppm 时，光合作用就出现障碍，到 0.3ppm 时光合作用降低到正常光合作用的 75%。紫苜蓿群落的最适叶面积指数（Optimum leaf area index）及当时的地上部分现存量如表 3.3 所示，一年内前者为 4—5，后者为 190—370 克干量/平方米。空气中二氧化硫浓度为 0.15ppm 左右时，叶的二氧化硫的蓄积量为1000ppm/日，设茎的吸收量为叶的 1/10，则表 3.3 所列举的紫苜蓿群落，可以蓄积 0.09—0.18 克/平方米/日的二氧化硫。但通过这种过程植物能否获得对二氧化硫的耐性问题，仍不清楚。

表 3.3 紫苜蓿群落的最适叶面积指数（Opt. LAI）及当时的地上部分现存量的季节性变化和二氧化硫的推定吸收量(户塚，1971)

季节	Opt. LAI	地上部分现存量（克干量/平方米）			SO_2 吸收量(克/平方米/日)		
		叶	茎	合计	叶	茎	合计
春	4.1	105	146	251	0.105	0.015	0.120
夏	4.9	117	191	308	0.117	0.019	0.136
秋	3.7	81	110	191	0.081	0.011	0.092
冬	5.2	158	216	374	0.158	0.022	0.180
平均	4.5	115	166	281	0.115	0.017	0.132

将现存的少量城市植被和形成城市以前的原生植被以及现在的潜在自然植被（即对现在的植被不加任何人为影响的情况下在理论上将出现的植被）进行对比，结果见图 3.8（奥田，1973）[62]。为研究这种植被的关系，还有从顶极观察的方法和将演替度（Ds; degree of succession）相等的演替阶段横断剖析的方法（沼田，1971）[63]（本章从略）。根据图 3.8 现存

图 3.8 港区附近的植被分布模式图

A.（原生植被）1.麵槠群落、光叶榉亚群落。2.麵槠群落的典型亚群落。3.紫金牛-凸尖栲群落。4.棕鳞耳蕨(*Polystichum polyblepharum*)-桢楠群落的片断。5.赤杨（*Alnus japonica*)-麻栎（*Quercus acutissima*）群落。6.河柳(*Salix chaenomeloides*）群落。7.芦苇（*Phragmites communis*）群落。8.苔草（*Carex scabrifolia*）群落。9.海面(东京湾)

B.（现存植被）1.平坦化的谷地。2.坡面上残存的麵槠群落、光叶榉亚群落。3.学校校园的车前群落。4.有屋顶花园的大厦。5.地铁。6.行道树。7.台地上的住宅。8.台地上的高层大厦。9.坡地上部残存的庙宇林木。10.坡地上的多年生草木、林缘矮树、蔓生植物群落。11.排水沟。12.地铁、大厦和地下市街。13.填充土上的高层大厦。14.沟渠。15.工厂空地上的一枝黄花群落。16.填充土上的工厂。17.海面。

C.（现在潜在的自然植被）1.赤杨-麻栎群落。2.麵槠群落、光叶榉亚群落。3.麵槠群落典型的亚群落。4.紫金牛-凸尖栲群落。5.棕鳞耳蕨-桢楠群落。6.正木（*Evonymus japonicus*)-海桐（*Pittosporum tobira*）群落。7.芦苇（*Phragmites communis*）群落。8.白茅（*Imperata cylindrica* var. *Koenigii*)-芒(*Miscanthus sinensis*）群落。9.海面(宫脇，1972)

植被倒可以看到，除神社、寺庙仅存的自然植被凸尖栲林以外，其它全被破坏了。作为代偿植被（Substitutional vegetation）的校园里的车前（*Plantago asiatica*）群落，工厂空地归化杂草

的一枝黄花（*Solidago altissima*）群落等，都是由人工开发而形成的典型的城市植被。

在日本的植物区系中归化植物很多，而且以明治维新以来输入的来历清楚的归化植物居多。引人注目的是，其中有些属于次生演替的初期阶段。它们的传播常常开始于与外国交通频繁的港湾，又从进口物资的货栈沿着铁路线前进，多数能在城市地区找到它们的生活场所。

因此有一种看法，认为归化植物对全体植物区系种类数目的比率(归化率)是表示城市化程度的标志。曾被认为是文化标志的归化植物，现在却又被看做环境恶化的标志，这是很有讽刺意味的。

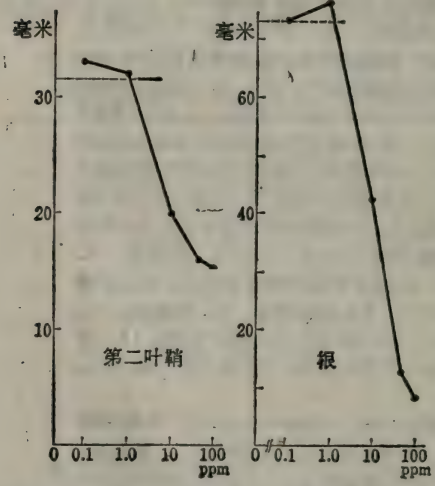


图 3.9 DME 对水稻(农林 21 号) 生长的作用，虚线是对照区

而且，这些占据次生演替初期阶段的猪草（*Amobrosia artemisiifolia* var. *elatior*）、飞蓬属的一些种（*Erigeron annuus*、*E. Canadensis*、*E. Sumatrensis*）、一枝黄花等许多植物，都能从地下部分产生出他感作用 allelopathy 物质，这是很有兴味的。我们从一枝黄花地下部分分离出 Dehydro-Matriearia ester (DME)，并且进行了生物检定(小林、沼田、大贺，1972)[64]发现，其对水稻生根和叶鞘的成长有阻碍作用(见图 3.9)。

因为同样的阻碍作用，对芒（*Miscanthus sinensis*）也有，所以就演替阶段来说，对于从一枝黄花期向芒期的转化，推测

这种他感作用物质具有消极的影响。

这种物质具有消极影响是实验推测出来的，但如果不在实验室，而在现实的土壤中这种物质是否也有作用呢？为明确这个问题，试从土壤中进行分离，结果表明土壤中也有足够的有效浓度。

后来，从猪草和飞蓬（*Erigeron annuus*）中分离出 Lachnophyllum ester 和 Matricaria ester，可以推断这些物质对演替有阻碍作用（Numata et al., 1972）[65]。不过其阻碍作用在几年内阻挡不了自然演替的进行，在一枝黄花群落中也很快侵入了朴树（*Celtis senensis*）等木本植物，逐渐地向木本期过渡。

虽然也有把城市里归化率的高低及其覆盖面积的扩大直接作为城市环境恶化的标志的，但这样简单地下结论未必妥当。这些植物几乎都是先锋种，形成了演替的初期阶段，即在地面不断受到干扰的情况下，出现的演替阶段。这样的条件在城市化地区确实较多，但不能就把这种情况看做环境恶化的一般标志。

3.3 动物区系的变化

关于城市的生物区系，特别是有关动物的，有生沢（1972）[66] 对赤家蚊（*Culex pipiens pallens*）的生态型地下家蚊（赤家蚊的生理性变种）、熊鼠（*Rattus rattus*）和沟鼠（*Rattus norvegicus*）的关系、蜚蠊（*Periplaneta japonica*）等所做的记述。以大厦的地下市街、地下铁道等的污水槽、地下的贮水池和净化槽等为栖息场所越冬并不休眠的地下家蚊，正向日本全国扩展。

历来在住宅地区熊鼠占压倒多数约 90%，商店街也占 70%。沟鼠和二十日鼠（*Mus nusculus*）是劣势种。但随着

城市化作为沟鼠的居住场所的地下市街等的建成，沟鼠在那里不断地大量繁殖，正在排挤熊鼠。在沟鼠身上寄生有适于高温多湿环境的鼠虱(*Laelaps echidninus*)或家虱(*Ornithonyssus bacoti*)，它们和适于较低湿度的寄生在熊鼠身上的刺虱(*Laelaps nuttalli*)属于不同区系，这一点也值得注意。

关于蜚蠊，每年发生两次，最近正在北海道扩展的茶翅蜚蠊(*Blattella germanica*)，每年发生一次。在日本西部较多的大型的黑蜚蠊(*Periplaneta fuliginosa*)和从关东到东北一带较多的大和蜚蠊(*Periplaneta japonica*)等属于杂食性，正在扩大它们在城市的生活圈。

鱼类方面，多摩川自古以来水质清澈，名贵的香鱼(*Plecoglossus altivelis*)为其特产，也是石斑鱼(*Tribolodon hakonensis*)、杜文鱼(*Cottus helgendorfii*)等喜欢清水鱼类的栖息处。但时至今日，多摩川已经被污染得不成样子(加藤，1973)[67]，再也看不到这些鱼的踪迹，代之而来的，鲤科的小鱼白票子(*Pseudorasbora parva*)开始大量繁殖(中村，1973)[68]。

鸟类方面，积有多年的资料。就明治神宫、自然教育园和浜离宫的鸟类区系变化来看(图 3.7)，在过去的二十年间，鸟的种类繁殖数分别减少 57%、50%和31%(樱井，1972)[52]。这些鸟类的生活环境如图 3.10 所示，从这里可以推断在城市里由于它们的栖息处越来越单纯化，越来越受限制，所以在区系上也就发生了变化。根据 650 个地点的调查资料，荏雀(*Parus major*)的生活状况同植被的关系如图 3.11 所示，可以区分为：连鸟声也听不到的、只闻鸟声看不到幼鸟的、听到鸟鸣也能看到幼鸟的三类地区。这种情况与图 3.12(奥富，1972)[70]根据东京都森林植被分布的状况所划分的 1—5 类地区颇相对应。还可清楚看到，这种情况与图 3.13 根据用网捕捉到的

树冠郁闭的森林	常绿阔叶树	绣眼儿 (*Zosterops palpebrosa*) ○	山雀 (*Parus varius*) ○		荏雀 (*Parus major*) ○ 河原鹨 (*Chloris sinicak*) ○ 白头翁 (*Sturnus cineraceus*) ○ 兰鹊 (*Cyanopica cyanus*) ○ 麻雀 (*Passer montanus*) 青叶鹃 (*Ninox scutulata*) ○	乌鸦 (*Corvus macrorhynchos*) ○ 鸦 (*Corvus corone*) 鸢 (*Milvus migrans*)
	落叶阔叶树	画眉 (*Turdus dauma*) * 子鸲 (*Phylloscopus occipitalis*) *				
	阴暗针叶树 (枞、椴…)	虎鸫 (*Anius magnirostris lesson*) *	山椒鸟 (*Pericrocotus divaricatus*) * 练鹊 (*Terpsippone princens*) *			
	明亮针叶树 (赤松、落叶松)					
疏林	明亮针叶树	小斑鹟 (*Muscicapa latirostris*) *	红伯劳 (*Lanius cristatus*) * 伯劳 (*Laniusbucephalusu*) ○ 小绶鸡 (*Bambusicola thoracica*) ○ 东雉 (*Phasianus colchicus tohkaidi*) ◎ 黄道眉 (*Emberiza cioides ciopsis*) ○ 雉鸡 (*Streptopellia orientalis*) ○			
	落叶阔叶树	夜鹰 (*Caprimulgus indicus*) *				
其他灌丛等		莺 (*Cettia diphone*)、燕 (*Hirundo rustica*) * ○				
水边		黄鹡鸰 (*Motacilla cinerea*)、鱼狗 (*Alcedo atthis*)、鸳鸯(*Aix galericulata*)、䴙䴘 (*Podiceps ruficollis*)、笹五位 (*Butorides striatus*)、五位鹭 (*Nycticorax nycticorax*)、夏鸭 (*Anas poecilor hyncha*)、河鳥 (*Phalacrocorax carbo hanedae*)				

"◎": 为已绝鸟种,人工放置后又繁殖的; "*": 为夏季候鸟; "○": 为 1971 年繁殖种(樱井, 1972)

图 3.10 鸟类繁殖的生活环境 鸟名称外的框面积表示栖息场所的大小比例

繁殖状况 / 森林植被的分区	连鸟声也听不到	仅能听到鸟声	能看到幼鸟
几乎没有森林的地区	90%	9%	1%
有少量的森林点状分布的地区	24%	42%	34%
森林呈带状或点状分布的地区	2%	49%	49%

图 3.11　东京都中心附近荏雀（*Parus mojor*）的繁殖状况（樱井，1972）

东京都各地埋葬虫的种类组成所划分的地区(樱井，1971)[71]也有极为密切的关系。埋葬虫是吃动物腐烂尸体的清洁工，缺少这种动物时，生态系统的食物链就脱离了自然的形态。这种与残存森林数量相关联的情况，是有深刻教训的。

就城市化地区最常见的麻雀来看，根据波兰的 Turček (1972)[72] 的研究［国际生物学计划（IBP）研究项目之一］，

在城市化地区除了从晚夏到早春集成大群（mass flocking）以外，一般分成小群。这样对它们的生活极为有利，并且与环境是相适应的。就是说，为了获得食物的独占区域，并在其间找到窝巢，小群比较稳定。又因建筑物的状态，食物的状态，特别是丢弃有机物的状态等不同，小群的形成方式也不同。他还指出家鼠、熊鼠、家鸽等也遵循于同样的条件。浦本(1973)[73]同样研究了麻雀为什么只住在住户附近的问题。他认为可能是随同农耕文化的东移，形成适于麻雀的栖息场所，麻雀才遍及日本列岛。产生这种看法的契机，是由于最近的研究发现随同山村过于稀疏，麻雀踪影也消逝不见了。

作者于 1967 年访问了美国伊利诺斯大学专门研究猪草属（*Amobrosia*）的植物分类学家 W. W. Payne，得知他的学生 A. L. Gebben 研究过猪草的生态分布。根据 Gebben 的实验证明，猪草的种子多半是从迁移到美国的英国麻雀的粪中发芽的，随着麻雀的移动扩大了猪草的分布。猪草这个先锋种，作为城市化地区特征的伴人植物（ruderal plant），与可以称做伴人动物的麻雀生活与共，这种现象是颇有趣味的

图 3.12　从森林植被的数量，看东京都的地域划分（奥富，1972）

1. 几乎全部为森林植被覆盖的地区
2. 森林植被呈虫蚀状分布的地区
3. 森林植被呈带状或点状分布的地区
4. 森林植被呈少数点状分布的地区
5. 几乎没有森林植被的地方

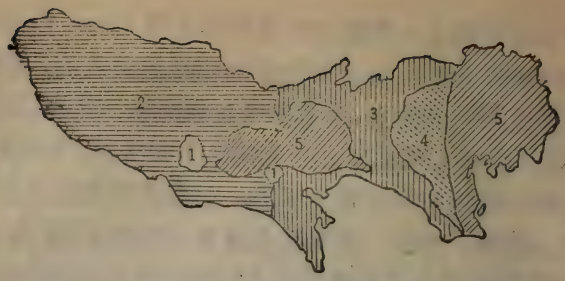


图 3.13 根据用拍网打到的埋葬虫类的种类组成，看东京都的地域划分(樱井，1971)

1. 日本埋葬虫科（Silphidae）所有种类出现的地区
2. 小黑埋葬虫和四星埋葬虫出现的地区
3. 小黑埋葬虫和其它埋葬虫科出现的地区
4. 只有小黑埋葬虫出现的地区
5. 无埋葬虫科的地区

(Hayashi 和 Numata, 1968)[74]。

就分布极为普遍的土壤动物蚯蚓来看，根据它的生活样式和分布情况的资料（大野，1973)[75]，从生活样式可分为以下三种类型。

(1) 造巢型:

潜伏层主要在 A—B 层，有从那里通向地表的坑道，末端向地表开口。

(2) 非造巢型:

A 型：潜伏层主要在 A 层，虫体多与地面平行。

A_0 型：潜伏层主要在 A_0 和 A_0—A_1 层。当 A_0 发展不好或部分缺乏时，则将 A_1 的表层堆高潜伏其下。

其中受城市化影响最大的是 A_0 型的。城市化对蚯蚓的影响，有除掉林床植物、扫去落叶、地面被人踏实等。这样典型状况见于林荫树附近、街心公园等处。在这样的环境下，A 型蚯蚓尚能生存，但 A_0 型蚯蚓则完全不能生存。A_0 型蚯蚓在蚯蚓中也是受大气污染影响最严重的。东京都内这种蚯蚓

分布的情况如图 3.14 所示。陆生蚯蚓的天敌包括有捕食性的和寄生性的，种类很多。根据大野 (1973)[75] 的调查，有鼹鼠 (*Talpa mogura*)、日本蟾蜍 (*Bufo bufo japonicus*)、青步行虫 (*Carabus dehaanii*)、白头翁 (*Sturnus cineraceus*)、乌鸦 (*Corvus macrorhynchus*) 等。东京都内存在的 20 种蚂蚁 (大野，1973)[75]，其中象黑长蚁 (*Messor aciculatum*) 那样仅

图 3.14　东京都有 A_0 型蚯蚓的地点“○”，个体密度大的地点“◎”，没有的地点“●”(大野，1973)

数字：公元 19××年

图 3.15　在东京都内蜻蜓类(秋茜蜻蜓、薄羽黄蜻蜓除外)的退却前线。1971，4，16. 东京自然史研究会

以纯植物性物质为食物的自不必说，就是以动物性物质为食物的其它多种蚂蚁，一般也几乎不攻击活着的蚯蚓。但根据这次调查，可以看到 A_0 型蚯蚓的分布和黄蚁之间有极明显的负相关。以单位时间的捕获数量表示 A_0 型蚯蚓的生息密度时，东京都区域的西部和北部密度小，后乐园—上野公园附近个

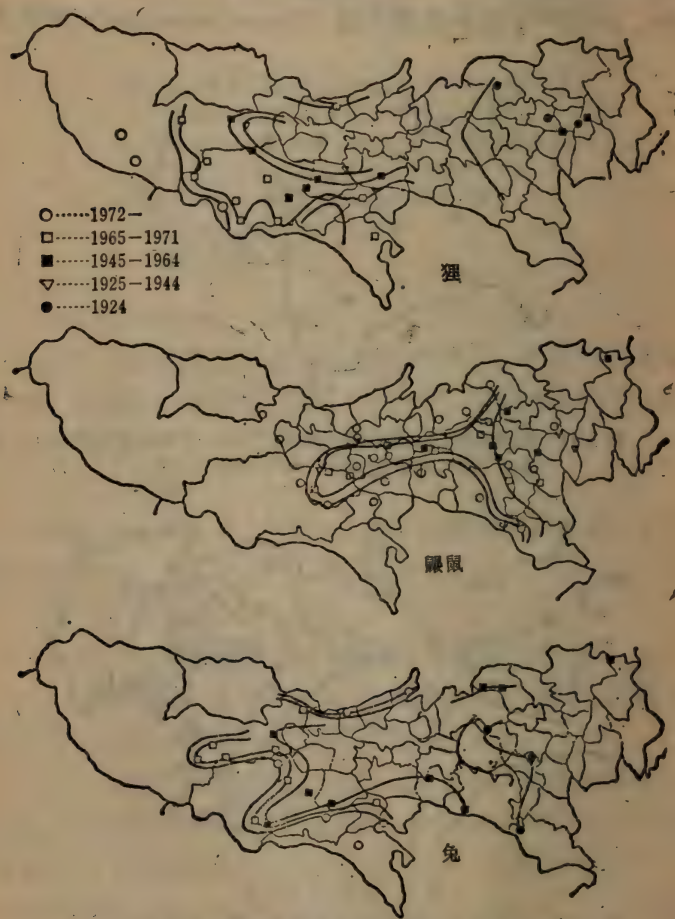


图 3.16　在东京都哺乳类的退却速度(千羽，1973)

体密度一度增大，及至东部或南部则又降低，有的地方甚至完全没有。通过这样的定量调查，可以认为，城市化在某种限度内 A_0 型蚯蚓的生息密度增高，城市化再发展下去就引起这种蚯蚓的减少。

在东京都内，品田、富冈（1972）[76] 对小动物退却前线做了调查。蜻蜓类[秋茜蜻蜓（*Sympetrum frequens*）、薄羽黄蜻蜓（*Pantala flavescens*）除外]、蝗虫（*Locusta migratoria*）、萤等的退却前线有极为类似的情况（图 3.15）。同样，根据千羽（1973）[77] 调查过的大型兽类退却前线，如图 3.16 所示，狸（*Nyctereutes procyonoides*）的退却速度最快，与其近似的有狐和鼬。鼹鼠的退却，因建筑时采用推土机等平整地面的方法，也出现了一下子全部跑掉的特殊形式。这些动物从城市地区的退却，也可以说是明显地表示出因城市化而带来的动物区系上的变化。

3.4 生物标志

最近常常提到的生物标志，是一个与生物学的历史同时出现的古老概念（沼田，1953）[78]。如果认为环境不单纯是外界的无机条件，而是与生物联系在一起的，按这一立场评价环境当然就会出现以生物为尺度去观测环境的想法。例如利用野生植物判断土地条件的事例，早在原始农业时代，或移居到新地方开垦土地时都已使用了（沼田，1963）[79]。

这种研究，一般归属于指示植物（plant indicator）的研究，但过去主要关心的是根据指示植物作应用生物学上的价值判断（Clements, 1920）[80]。一般地说，植物标志对于综合条件（例如土地熟化程度、肥沃程度、气候等）和单一条件（pH 值大小、土壤颗粒粗细、地下水位高低、光照度、湿度等）各有

有效的实例(沼田，1963)[79]。近代又出现了将植物的季节现象，例如把开花、落叶等作为对环境的反应而建立的生物季节法 (Schnelle, 1955)[81]。

再有，根据某一地区生活型的统计，也可以作为该地区在植物上的气候反应 (Raunkiaer, 1934)[82]。这样所表现的植物气候是宏观的处理方法，是与 Köppen 的气候分区相对应的。当再稍为详细研究，采用局部的并且以实验的方法取得资料，就形成了 Clements 等人的植物计(Phytometer)*的方法(Clements 和 Goldsmith, 1924)[83]。

这样，生物标志的方法，就不只是狭义的指示植物，而要看做是包含生物季节、生物测量仪器等内容的广泛概念。按照联合国人类环境会议的要求，由国际学术联合会议 (ICSU) 的环境问题特别委员会 (SCOPE)[84] 提出了地球环境监控计划。与此相关，日本生态学会于 1972 年 2 月向环境厅提出申请书。其中在监控方面，要求在采用物理学和化学观测的同时，还要观测该地表出现的生物现象，特别是代表环境特性的指示植物的种类，个体数、现存量和群落的动态。根据这种平行观测，能掌握以往的持续的平均状态，以阐明环境的内在实质。但这样做，并不是说利用物理化学的测量仪器测定环境是没有用的，而是并行不悖，用生物标志来测定物理化学方法所不能测定的其它侧面，这是必要的。

应用生物标志评价环境有长处也有短处。例如，测定由于单一因素而发生的瞬息变化的强度时，物理化学的仪表是有效果的，但对持续长时间的平均状态，或与其它因素相复合而形成的总体变化量，物理化学仪表就无能为力了。特别是

---

* 植物计 (Phytometer)：即把植物或植物群落看成能在数量上测定环境的综合仪表，用以评价环境。——译者注

当要了解这些因素，不论是单一的还是综合的，对一定的生物或生物群落具有什么关系时，最好是通过生物反应这个标志来测定。认识这些生物标志的有效性和限度，并且加以有效利用，是我们所希望的。

根据奥富等人(1973)[85]的调查，城市林的组成和结构的特点，同自然林做比较，有明显的差异。他将明治神宫的樟树(*Cinnamomun camphora*)林、凸尖栲林、麵槠林，新宿御苑、六义园和学习院大学校园里的凸尖栲林，浜离宫的桢楠林与千叶县鸭川市、天津小凑町的凸尖栲林，馆山市的桢楠林进行了比较。结果，城市林在组成上，一般比自然林的树木种类少、自然林要素的含有率低；在结构上，分层化明显、草本层发育不好、胸高直径的分布曲线，自然林为倒"J"字型，而城市林为"L"字型。这种现象，虽然可以明确无误地当作反映城市化的标志，但其因果关系尚不十分清楚。

概括地说，即便是城市的生物标志，也要根据怎样捕捉要标志的城市化的内容，采取各种形式。如前所述，城市温度的上升，土壤的碱化，地下水位的降低，以及其它各种城市化的现象，都可能利用生物做为标志。

最近在城市的生物标志上，引人注目的是作为城市化最大特点之一的环境污染的标志。关于这个问题，在英国生态学会的讨论会(1964)[86]上已进行了颇为详细的探讨。其中，Gilbert (1965)[87]从纽卡斯尔的市中心区直到市外，对地衣类的分布进行了断面考查。结果了解到(图 3.17)，尽管因为白腊树(*Fraxinus sieboldiana*)皮、砂岩表面、石棉房顶等附生基质的不同而有所差异，但都具有同一趋势，即市中心区已成为地衣类荒漠(Lichen desert)。

以后，他又对苔藓类和地衣类进行了同样的调查(Gilbert, 1969)[88]。结果如图 3.18 那样，具有完全相同的趋势。在后

一调查中，Gilbert 对于附生在树皮、石棉房顶、砂岩壁以及草地的地衣和苔藓的种类数目的减少进行了研究。因空气污染所造成的减退，其首要趋势表现在量的变化上。随着空气污染，受害进展，种类减少，整体重量下降。当某一区域二氧化硫的年平均浓度超过 0.016ppm 时，种类极度减少。这样，纽卡斯尔市内 500 平方英里的地区变成了地衣的不毛之地。Gilbert 主要探讨了二氧化硫的影响，特别在地衣类和苔藓类体内硫的蓄积，附着基质 pH 值的降低，影响它们的分布和数量。

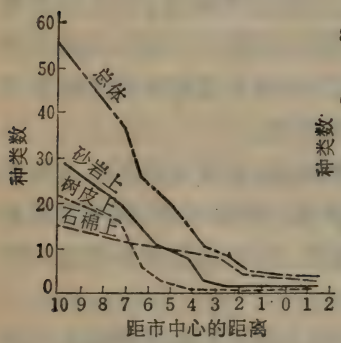


图 3.17 距离市中心区远近和地衣类(每种基质及总体)种类数目的关系(Gilbert, 1965)

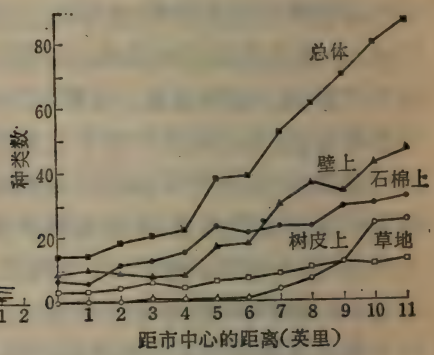


图 3.18 与图 3.17 的同一场所，地衣类、苔藓类的种类多少和空气污染(尤其二氧化硫浓度，以市中心区为大)之间的关系 (Gilbert, 1969)

关于附生基质的 pH 值，看一下 Skye (1968)[89] 调查的树皮 pH 值和地衣类附生的关系(图 3.19) 就清楚了。首次阐明作为附生基质的树皮化学成分意义的是 Barkman (1958)[90]，他同时还列举了有关树皮 pH 值与附生植物之间的关系的详细文献。Skye 阐明的不生长地衣地区的 pH 值之低是在自然界中见不到的。以后，Barkman (1969)[91] 探讨了城市化对

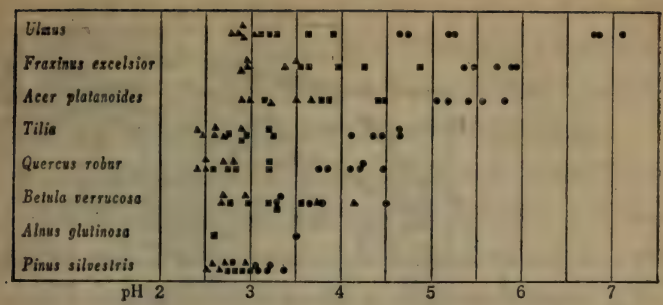


图 3.19 树皮提取液的 pH 值

●附生地衣类生长区

■过渡地带

▲没有附生地衣类的地区 松树皮 pH 值为 3.0—3.5 时，地衣植被发育良好；但白蜡树皮 pH 值为 3.5 时，地衣类就完全看不到了 (Skye, 1968)

苔藓类和地衣类，尤其是对附生基质的影响。在城市化的情况下，和地衣类荒漠一样，形成了附生植物荒漠(epiphyte desert)。如图 3.20 所表示那样，整个荷兰，在大城市、中等城市或工业区周围，都形成了附生植物荒漠。这种情况的产生当然是由于空气污染特别是二氧化硫所给予的重大影响，同时，城市气候的干旱化这个因素也有一定关系。

苔藓类和地衣类比维管束植物更适宜作污染标志的原因是 (Barkman, 1969)[91]：(1) 体表没有角质层和可调解的气孔，而用整个体表进行气体交换；(2) 空气污染的后果是以溶于雨水的形式产生影响的。对溶有污染物质的雨水，苔藓类和地衣类是以整个体表直接接受的，维管束植物一般则是通过土壤间接受影响的；(3) 多数维管束植物主要在夏季生长，而夏季空气污染程度因暖气流的对流而降低，污染物质被扩散，是影响较小的时期。秋冬季，感受能力最大的器官树叶脱落，以种子或地下茎的形态在地下休眠。而某些常绿的高等植

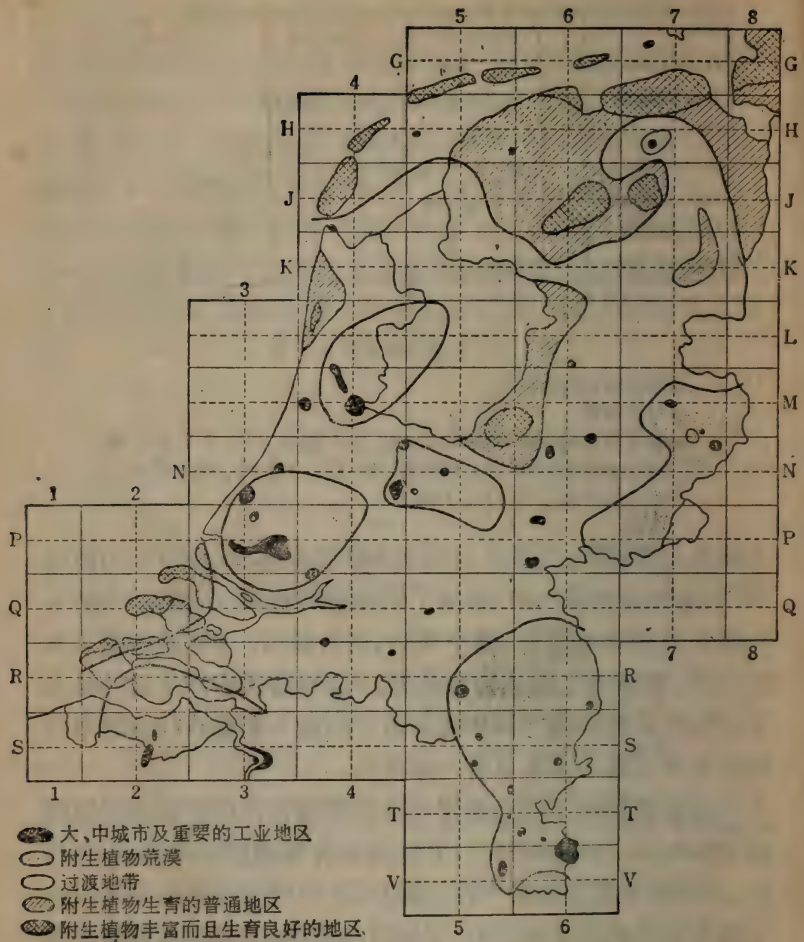


图 3.20　荷兰的附生植物地图 (Barkman, 1969)

物，例如针叶树、石南类，是对空气污染抗性较强的种类。与之相反，苔藓类和地衣类在夏季经常出现的干燥空气的环境下进入干燥期休眠 (drought sleep)。从秋到冬却是其物质代谢最活跃时期，这时欧洲空气湿度增高，温度降低。由于苔

藓类和地衣类属于常绿植物，生长最适点偏于在低温，所以秋、冬季呼吸和光合作用旺盛。可是，在欧洲由于取暖及其它原因，冬季是空气污染最严重的季节，这时降雨也是酸性雨(图 3.21)，其结果苔藓类和地衣类直接受到强烈影响。

根据对东京都内地衣类标志作过调查的黑川（1971—1972)[92]报导在市内很少见到地衣始于19世纪中叶（Nylander, 1866)。欧洲从 1955 年左右注意到城市污染和地衣类分布的关系，对这一问题给予最大佐证的是，在实验室内研究各种空气污染物质对地衣植物体的影响。黑川设计了培养装置，探讨若干种地衣的培养条件，相信不久的将来各种空气污染物质的作用机制会更进一步被搞清楚。

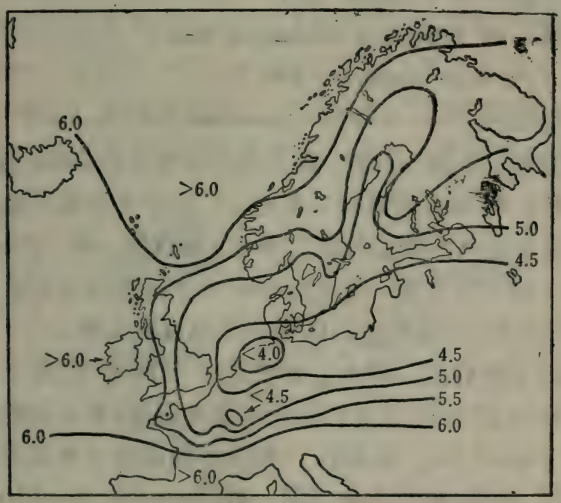


图 3.21　欧洲的酸性雨 pH 值是 1962 年的年平均值
(根据 Eriksson 和 Odén, 1967—Skye, 1968)

如前所述，关于空气污染与地衣植物区系的关系，虽然根据欧洲诸城市的若干例子已被阐明，但与东京都所出现的地

衣种类相比，几乎没有共同种。所以，将欧洲与东京的地衣植物区系的种类组成做比较没有什么意义。再有，关于对空气污染抵抗力的强度，一般的顺序是叶状地衣<树皮上地衣<固着地衣。在东京旧市街的23个区根本没有叶状地衣。顺序是否都是这样，还不清楚。

在东京都调查地区内发现10种地衣，以分布范围较广的6种作为调查对象，对131个不同地点是否分布有这些地衣做了调查（黑川，1973）[92]。6种地衣如下：

小漏斗石蕊［*Cladonia conistea*（Dell.）Asah.］

麸石蕊的变种［*Cladonia pityrea*（Fiörke）Fr. var. *zwackii* Vain.］

文字衣属一种（*Graphis* sp.）

梅衣属一种（*Parmelia clavulifera* Räs.）

梅衣（*Parmelia tinctorum* Nyl.）

日本珊瑚枝（*Stereocaulon japonicum* Th. Fr.）

在东京都，小漏斗石蕊、麸石蕊的变种（*Cladoma pityrea* var. *zwackii*）和日本珊瑚枝三种地衣广泛分布在整个调查区域，看不出与空气污染的关联。梅衣、梅衣属一种（*Parmelia clavulifera*）和文字衣属一种（*Graphis* sp.）三种地衣的分布范围，如图3.22所示，在都中心区哪一种也没被发现。

在静冈县的静冈、清水、富士三个市所作的调查（图3.23），发现地衣33种之多，而且小漏斗石蕊、麸石蕊的变种（*Cladonia pityrea* var. *zwackii*）和日本珊瑚枝三种地衣分布到市中心区，相反，梅衣和梅衣属一种（*Parmelia clavulifera*）在市中心区却没有见到（Sugiyama，1973）[93]。

历来的报告都认为，地衣类的分布与空气污染，特别与二氧化硫的浓度相关联。从根据东京都公害局（1972）[94]的测定结果，绘出的二氧化硫的等浓度线（图3.22）看与这三种地衣

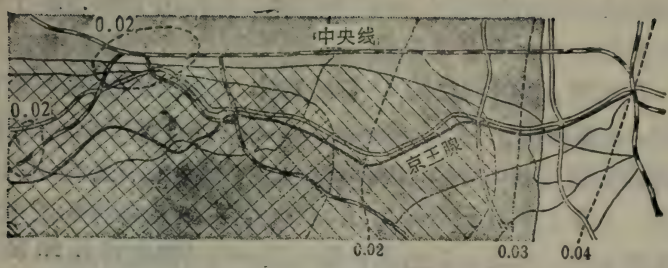


图 3.22　在东京都梅衣（*Parmelia tinctorum*）(▨)
梅衣属一种（*P. clavulifera*）(\\\) 文字衣属一
种（*Graphis* sp.）(.∴.)的分布和二氧化硫年平均
浓度(黑川，1973)

分布的密切关系就很清楚：文字衣属一种（*Graphis* sp.）分布在二氧化硫浓度 0.035ppm 以下的地区；梅衣属一种（*Parmelia clavulifera*）分布在 0.03ppm 以下的地区；梅衣分布在 0.02ppm 以下的地区。在静冈市等处，根据详细的报告书（静冈市 1971[95]、清水市 1972[96]）绘出了二氧化硫的等浓度线和浮游

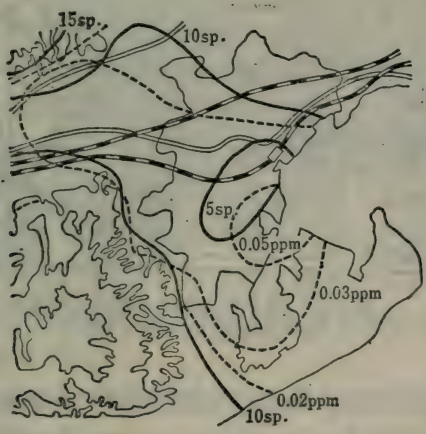


图 3.23　清水市地衣的种类数和二氧化硫的
年平均浓度（黑川，1973）

粉尘的等量线，并考察与地衣类的分布关系，浮游粉尘似乎对地衣类的分布没有多大影响。

在东京、静冈调查的 21 种地衣中，受空气污染影响最显著的，是梅衣属一种（*Parmelia clavulifera*）和梅衣。在二氧化硫浓度超过 0.025—0.03ppm 的地方，完全没有发现这两种地衣。这条二氧化硫等浓度线，在象静冈、清水那样污染不太严重的地区，与地衣类出现种数达到一半（调查对象 20 种中的 10 种）以上的地区大致相一致。从以上结果来看，具有标志意义的地衣不一定是同样的种类，但在种类数的减少上似乎具有普遍性。

Taoda (1972)[97] 调查了东京都的附生苔藓类植被，如图 3.24 所示，共分成五类地区：

I: 完全看不到附生苔藓类植被的地区。相当于二氧化硫浓度(年平均，下同)超过 0.05ppm 的地区；

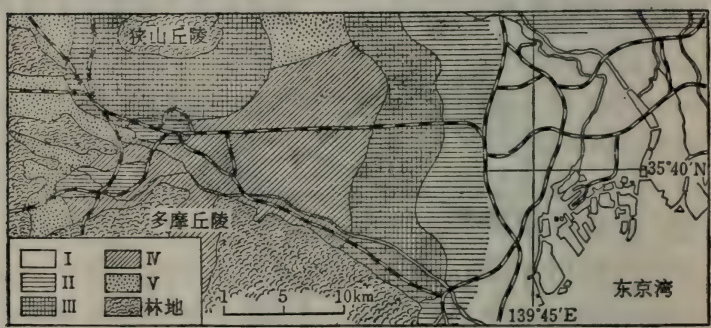


图 3.24 东京都以附生苔藓类为标志的空气污染地图(埃田，1972)

II: 仅能见到少量的日本细疣胞藓（*Clastobryella kusatsuensis*）、高领藓属一种（*Glyphomitrium humillimum*）。为二氧化硫浓度为 0.04—0.05ppm 的地区。

III：除上述两种最常见的以外，还常增加 1—2 个种的地区。二氧化硫浓度为 0.02—0.04ppm。

IV：增加绢藓属一种(*Entodon challengeri*)、コハイゴケ、日本锦藓（*Sematophyllum japonicum*)、日本残叶鳞苔(*Cololejeunea japonica*）等，在一个地方可有 4—5 个种。二氧化硫浓度为 0.01—0.02ppm。

V：再增加耳叶苔属一种（*Frullania musciola*)、多枝藓(*Haplohymenium sieboldii*)、羊角藓（*Herpetineuron toccoae*）等，标誌市区或近郊附生植被正常的地区。二氧化硫浓度在 0.01 ppm 以下。

垛田（1973)[98] 还进行了附生苔藓类等接触二氧化硫的实验。确认城市地区的附生苔藓类的分布类型与污染耐性(根据实验得来的对二氧化硫的耐性)有一定关联。广泛分布到污染地区的种类对二氧化硫的耐性大。但是，从野外的观察结果看，被认为污染耐性小的种类，对二氧化硫不一定是软弱无力的。因为在轻度空气污染的地区，其它环境因素，如尘土、干燥等等，也是限制附生苔藓类生长的因素。

这种由于空气污染而受害，还与空气湿度有很大关系。这种情况与光化学烟雾引起附生植被变化有关（垛田上述地域划分没能反映与光化学烟雾相对应的附生植被的变化。)，因为在光化学烟雾发生的条件下，如果树皮上的苔藓干燥，处于生理性休眠状态受影响就小（Taoda, 1972)[97]。

不过，环境污染与苔藓类的这种关系不一定是普遍性的。有人指出在铅公害严重的牛込柳町附近有长得很茂盛的青苔庭院(井上，1972)[99]。

可以认为由于空气污染所造成的植物受害，是间接地通过雨水，即由酸性雨引起的。如前所述，Eriksson 等(1967)[89] 绘制了关于欧洲雨水酸度的等值线图(图 3.21)。在 Thomas

(1965)[100] 的实验中，对箱植的梯牧草（*Phleum pratense*）和黑麦草（*Lolium* sp.）进行浇水，对其一年的成长量进行观察。从干物产量看，浇中性雨水和硫酸 14ppm 的情况略同；浇酸性雨（acid rain）和硫酸 40—160ppm 大致相同；使用硫酸 320ppm 的水溶液时，生长特别不好（表 3.4）。

表 3.4 影响梯牧草生长的酸性雨和已知酸性溶液（Thomas, 1965）

灌溉用水	干物总重量		
	1908	1909	1910
中性雨	28	25	14
酸性雨	25	19	11
	24	18	7
H_2SO_4 10ppm	31	18	12
H_2SO_4 20ppm	29	18	8
H_2SO_4 40ppm	29	10	4
H_2SO_4 80ppm	25	8	4
H_2SO_4 160ppm	14★	2	0
H_2SO_4 320ppm	14↑	0	0

★：约一年枯死。　↑：三个月枯死。

根据在大阪用雨水培养青萍（*Lemna paucicostata*）的实验（佐藤、庵原，1968）[101]［前边介绍过的佐藤的实验（佐藤，1972[30]，图 2.9）也涉及过］，用雨水浇灌时，青萍不断地枯萎，叶状体缩小。并且出现枯死的程度和速度明显有地区上的差异。用市内雨水时，即使加入促进植物生长的海波内克斯（Hyponex），与用蒸馏水的对照区相比，仍然明显地阻碍生长。根据用不同浓度雨水的实验，浓度高时，在实验开始后约两周内，叶状体的新生和枯死互相抵消，保持着不增殖的状态，以后枯死激增，生存的叶状体锐减。当雨水浓度降低时，虽然可以看

到增殖加快，但仍劣于只用蒸溜水的对照区（雨水为0%），雨水浓度越低繁殖率越高。不过，这种情况的出现，究竟是雨水中的什么成分妨碍了青萍的生长，目前尚不清楚。关于雨水中铜离子的含量，据在枚市搜集的若干资料记载为0.007—0.03 ppm，与1955年在名古屋测定的五个县的平均值0.007ppm*相比较，高出数十倍之多。另外，含有铜离子、锌及其它重金属类等因素也被充分考虑了，推测这些物质起增强或抵消作用。作出上述推断的根据之一是：即使雨水浓度相同，但液体的pH值不同时，青萍的增殖障碍的表现方式有所不同。

Taoda (1972)[97] 对二氧化硫的危害是酸的作用这一看法表示怀疑。即使在雨水情况下受害也很复杂。如前所述，尽管受害程度各不相同，但这些差别究竟说明什么，标志着什么样的环境条件，在目前情况下还很难确定。

作为空气污染物质的指示植物需要具备的条件（泽田、大平(1973)[102]）：(1) 对污染物质敏感性强；(2)栽培管理简单；(3)对病虫害的抵抗力大；(4)受害情况容易调查；(5) 生青期长；(6)分布地区广，等等。根据这些条件，沢田等 (1973)[102] 于1972年注意到家庭栽培的牵牛花（*Ipomoea hederacea*），并对整个东京都进行了受害调查，制成 Oxidant** 受害分布图（图3.25）。结果，清楚看到受害遍及整个东京都地区。根据泽田等到现在为止的调查，对 Oxidant 敏感性强的植物除牵牛花外，繁缕（*Stellaria neglecta*）、菠菜（*Spinacia oleracea*）、碧冬茄（*Petunia hybrida*）等草本植物和木芙蓉（*Hibiscus mutabilis*）、杨（*Populus* 属）、光叶榉等木本植物。估计也有作指示植物的希望。

---

* 原文疑有错，可能为 0.001ppm。——译者注

** Oxidant：为强氧化剂，是汽车在排气中氮的氧化物和碳氢化合物同紫外线作用下所产生的有毒物质的总称。——译者注

图 3.25 光化学烟雾受害植物分布图(牵牛花预查)
1972 年 9 月 7 日—21 日，调查规模：5×5 平方公里的方格 50 个，每个方格选 2—5 个地点，每个地点调查 5—20 棵
(沢田、大平，1973)

关于因臭氧及其它污染物质造成植物受害的表现方式，Treshow (1970)[103] 进行了很好的总结。认为受害基本上是叶绿体和细胞的破坏所引起的(图 3.26)，因而发生枯斑、叶脉间的褐色斑和漂白斑、尖端枯萎等症状。也有些植物在这种恶劣条件下获得了耐性。特别是剪股颖 (*Agrostis*)、狐茅 (*Festuca*) 等草类，在矿山等处会出现对于铜、铅、锌等重金属具有耐性的个体群 (图 3.27) (Bradshaw et al., 1965)[60]。在这种情况下，植物的标志的意义当然也就不同了，但这方面目前所知甚少。

上述对各种污染敏感的植物，其本身就可以用作植物计 (Phytometer)，Taoda (1973)[104] 已把苔藓类当做植物计使用。清野等 (1972)[105] 设想用对空气污染敏感的荞麦 (*Fagoryrum esculentum*) 做检查空气污染的植物计。这是因为在使用物理、化学的方法测定空气污染时，存在许多问题，诸如(1)主要测定的是污染物质的平均浓度；(2) 对局部性污染难以掌握；

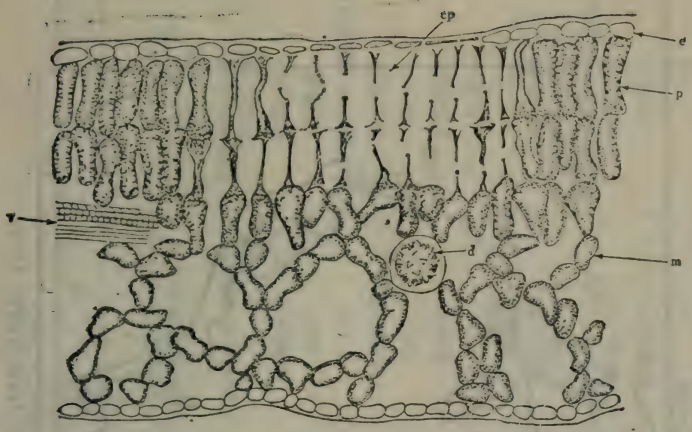


图 3.26　受臭氧损害的菠菜叶的横切面图。cp：被破坏的栅状组织，表皮细胞也受破坏；e、p、m、d、v 分别为健全的表皮细胞、栅状组织、海绵状组织、结晶体、维管束组织（Treshow，1970）

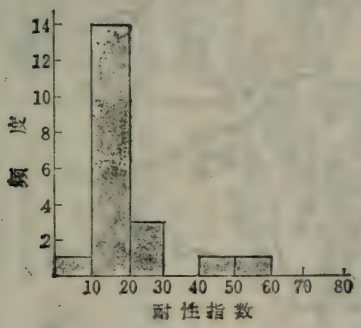


图 3.27　细剪股颖（*Agrostis tenuis*），从对铜没有抗性的个体群（左边的组）到部分的具有耐性的个体群（右边的 40—60 的 1 群）（Bradshow 等，1965）

(3)是以单一物质为对象测定的，所以难以掌握复合污染；(4)不易立即判断对生物的影响程度；(5)多数测试仪器价格昂贵等等。于是希望能得到有效地测定环境污染的植物计，并设

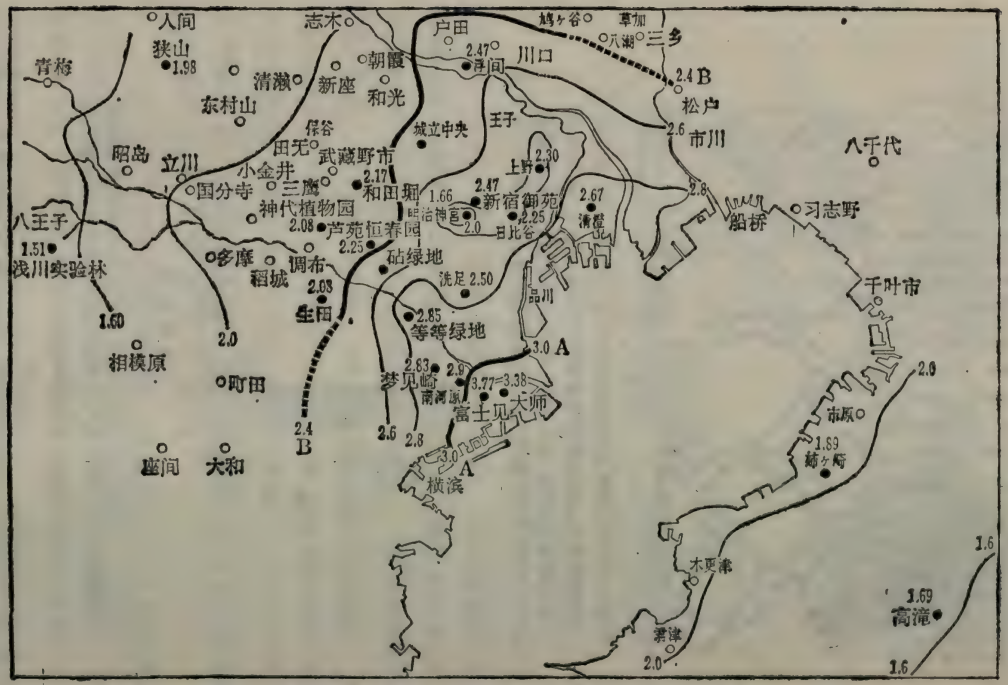


图 3.28　对超过栲树耐性界限地区的判断(被线围着的地区)(科学技术厅，1972)

表 3.5　树木生活力标志的评定标准(科学技术厅，1972)

测定项目	评价标准			
	1	2	3	4
树势	旺盛的生长状态，完全没有受害	多少有些受害，但不太明显	明显地看出异常现象	生长状态恶劣，没有恢复的希望
树形	保持自然树形	虽有些散乱，但仍接近自然树形	自然树形损坏较重	自然树形全被损坏，已畸形化
枝的生长状况	正常	稍少，但不明显	枝短而细	枝极短小
枝梢的枯损	无	稍有，但不明显	颇多	非常多
枝叶密度	正常，枝、叶密度匀称	一般，比 1 稍差	稍稀疏	枯枝多，新叶少，密度极稀
叶形	正常	稍变形	中等程度变形	明显变形
叶的大小	正常	稍小	较小	极小
叶色	正常	稍异常	颇异常	显著异常
枯斑	无	少量	颇多	极多
萌芽期	普通	稍迟	非常迟	
落叶状况	春或秋正常落叶(每年一次)	比正常稍早(一年一次)	非正常落叶(一年二次)	不定期落叶(一年三次以上)
红(黄)叶状况	正常	色稍差	有部分红(黄)叶，叶色不好	没有红(黄)叶，以污秽状态落叶
开花状况	良好	稍少	仅少量开花	不开花

表 3.6　东京都各种树木生活力标志的平均值(科学技术厅，1972)

调查地点＼树种	榉 *Zelkova serrata*	银杏 *Ginkgo biloba*	樱 *Prunus yedoeasis*	悬铃木 *Platanus acerifolia*	凸尖栲	柯树 *Pasania edulis*	栎 *Quercus myrsinaefalia*	雪松 *Cedrus deodara*	赤松	黑松	日本柳杉
浮间公园	2.47	2.41	—	—	—	—	—	—	—	—	—
城北中央公园	—	2.40	2.49	—	—	—	—	—	—	—	—
和田堀公园	2.17	—	1.87	—	1.96	—	—	—	—	—	—
芦花恒春园	2.25	2.14	—	—	—	—	—	—	2.50	—	—
砧绿地	2.36	2.03	2.14	—	2.39	—	2.62	1.83	—	2.46	—
日比谷公园	2.25	2.07	1.96	2.10	2.36	—	—	2.07	—	—	—
洗足公园	2.50	2.16	2.04	—	2.16	—	2.27	—	—	2.22	—
清澄公园	2.67	2.28	—	—	2.83	—	—	—	—	—	—
上野公园	2.30	2.25	2.34	—	2.61	—	2.89	2.44	—	—	—
明治公园	1.66	1.18	1.80	1.30	1.24	—	—	—	1.76	1.52	3.22
新宿御苑	2.47	2.11	2.15	1.58	2.29	—	2.52	2.47	1.96	2.11	—
神代植物园	2.08	1.87	1.84	1.93	2.02	—	1.72	2.06	2.19	2.00	2.94

狭山公园	1.98	1.78	1.79	—	—	—	—	1.97	2.22	2.14	—
浅川实验林	1.51	1.71	1.64	1.30	1.88	—	2.00	1.39	1.67	1.39	1.74
大师公园	3.38	3.49	—	—	2.52	2.56	—	—	—	—	—
富士见公园	3.77	2.81	—	2.20	2.69	2.10	—	—	—	—	—
南河原公园	2.93	2.47	—	—	2.42	1.82	—	—	—	—	—
梦见崎公园	2.83	—	2.10	2.11	—	2.17	—	2.16	2.17	—	—
等等力绿地	2.85	2.42	—	3.06	—	—	—	2.17	—	2.39	—
生田绿地	2.28	2.34	2.05	—	2.42	2.09	—	2.16	—	2.23	—
姊崎神社	1.87	—	—	—	1.80	—	—	—	—	—	—
高滝神社	1.69	1.35	1.95	—	—	—	—	—	—	—	1.72
福岛种畜牧场	1.23	1.65	1.00	1.00	—	—	—	—	1.09	1.11	1.10
益子西明寺	—	—	—	—	1.69	—	1.67	—	—	—	—

想了这样的植物计。用它来测定各种时期、各种环境下的生长率。即把这种植物计同时放在空气正常的地方和污染的地方一周左右，根据比较两者的相对生长率，来测出空气污染的状况。

关于城市内树木衰退的情况，奥田（1972）[39]对自然教育园内凸尖栲的健康度进行了调查（图 3.4）。以这工作为基础，科学技术厅（1972）[32]从栲树的健康度推断出其耐性界限（再恶化下去就不能恢复的健康度的临界点），并绘制成地图（图 3.28）。但是，这种健康度的分级与奥田（图 3.4）不同，用的是 1（良好）到 4（显著恶化）的等级。以后对于比栲树分布更广的榉树，按着栲树的评分进行换算，再根据该换算值引出榉树的耐性界限。另外，关于树木生活力标志的评定标准如表 3.5，以此为基础，按树种分别得到的生活力平均标志如表 3.6。

在金沢地区对作为空气污染标志的枞树进行了枯损调查（尾立，1972）[106]。但在东京这样污染严重的地方，那样的树种已经不能使用。而用分布广而且对污染敏感的榉树等树种，作为指示树木较为合适。

上面主要就植物进行了叙述。至于动物，在前述动物区系变化中提到的许多种动物也可以用作城市化的标志。但是如不明确是城市化的何种标志，只笼统地根据城市地区消失而在郊外才有这一点，就很难作为指示生物来用。

第4章　城市压抑下的人类

把城市作为生态系统（ecosystem）一般地说是可能的。因为随着城市化的进展，也可以把城市看做被逆温层等隔离开来的空间单位。但如果考虑到城市人类的生活情况，仅就粮食来看，城市就不是一个独立的体系。城市居民通过食物链或营养环(土地→草→牛→奶油、肉、牛奶)所受到六六六的污染，比直接接触农药的农村居民还严重。仅从这一事实来看，可以说城市的生态系统是个象章鱼足那样向四周伸出管子的奇妙形态。栗田（1973）[107]也提到这一生态系统应看成是包括城市和农村在内的范围广阔的单位（生态系统），还提出应从机能和结构两个方面去研究城市。

按照东京都知事美浓部在世界大城市会议基调演讲所述(1973)[11]，当今城市的特点是：政治、经济、情报等机能的集中；有各国文化的象征；技术进步加重环境的破坏；文明象征的大城市变成不文明的不方便的地方，损害市民健康，正在变成也许是下一代也恢复不了的存在恶劣影响的地方；成为住宅难、交通难、用水不足、贫困、犯罪、疾病、灾害的场所。象纽约那样，穷人向城市集中，富人向郊外逃避，可能是最坏的典型例子。

铃木（1973）[108]等进行过城市化过程和环境变化的模型分析，其基本图式如图4.1。随着城市化的过程，城市的儿童从某个时期开始便失去游戏的场所，或感觉到失去了自然(品田、富冈)[76]。感觉到失去自然的时期和蜻蜓等小动物退走的时期(图4.2，图4.3)是很一致的。

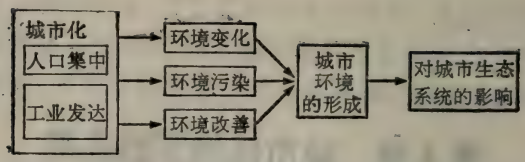


图 4.1　城市化的过程与生态系统的关系(铃木，1973)

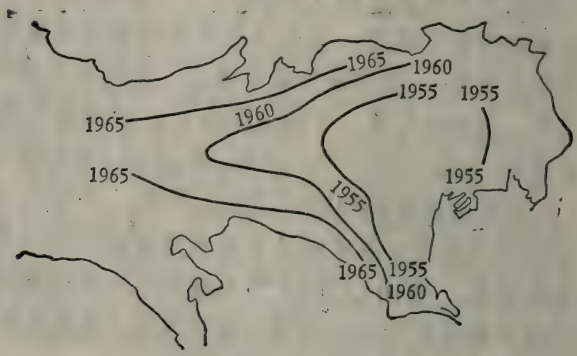
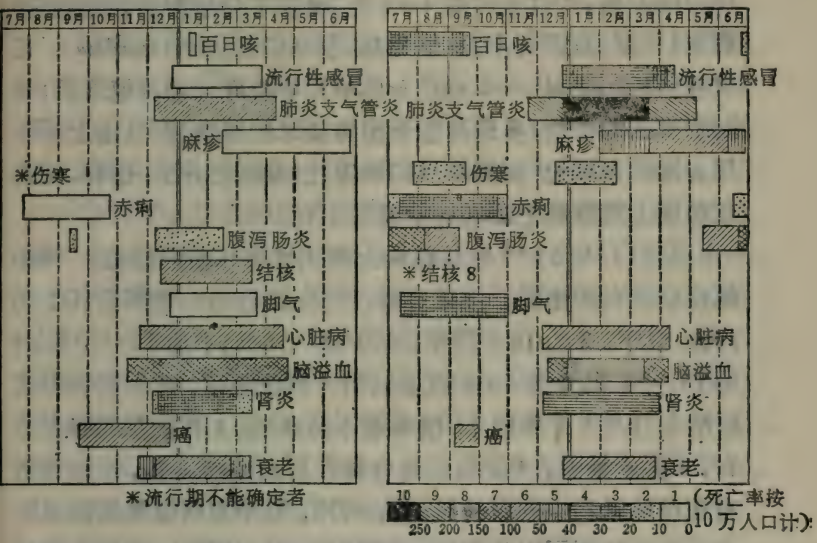


图 4.2　东京都游戏场所消逝的时间 数字是公历年
(东京自然史研究会——品田，1972)

图 4.3　东京一带自然景色消逝(改变)的时期
[东京都都民室调查(1971,3)——品田,1972]

表 4.4　战前(右，1930—1934 年)和战后(左，1952—1956 年)季节病一览表(籾山，1963)



将战前和战后的季节病一览表做一比较，可以看出明显的变化(籾山，1963)[109]。随着文明的发达，疾病的死亡率降低了，而且死亡的高峰季节有向冬季集中的趋势。城市化的进展似乎恰好反映了这种趋势(图 4.4)。根据山本(1972)[110,111]对于城市化地区的人口分布和土地利用变化的调查表明，随着城市化的进展，市街区域扩大了，由于非农业用地的扩展，在郊外出现特有的斯普鲁尔(Sprawl)现象*，导致公路网的扩建和地价上涨，宅地规模缩小，形成了过密的地区，屋旁树木和林地仅具象征性，土地被分割成短条形状，很多具有

* 斯普鲁尔(Sprawl)现象：指在大城市郊外，地价便宜的地方出现不规则的住宅化现象。——译者注

特色的集落* 集中于街旁。这样，林地变成岛状分布，农地减少了，形成农地和住宅地混杂的状态，农作物的栽培也向单一化方向发展，即过去种植 4—5 茬，现在不超过两茬，而且经营粗放；板栗、庭园树木、草坪用草、土当归（*Aralia cordata*）、花甘兰（*Brassia oleracea* var. *botrytis*）等特殊作物种植增多；转向于省工的作物；多采用适于出售技术的作物；而且走上了不用土地的畜牧业（饲养鸡、猪）和委托种植的方向。这样，无论在功能上或景观上都在进行着城市化。

品田（1973）[112] 想从结构上阐明城市环境的动态。例如他根据现有的地图，按建筑物占的比例分为 6 个等级（1 为 10% 以下，2 为 10—25%，3 为 25—50%，4 为 50—75%，5 为 75—90%，6 为 90% 以上），用方格法表示。或用所谓群度标准划分为 5 个等级（1 根本看不见绿色，2 有散在的绿点分布，3 房屋集中，4 绿地和房舍如农村般地混杂着，5 房舍散布在自然景物中的农村风光），同样，每个方格以等级数表示之。将这些图同以往年份的地图进行对比研究。最后作成结构要素的分布形式，可以说表现了自然和人工物之间的结构关系。

另外，就自然界中河流的自然度，划分为：从 1 完全未经人工改造到 4 整个地区全受人工改造的 4 个等级，同样制成方格地图；或制作 250×250 平方米汽车交通量的方格地图。从这些图明确看出过去和现在数量级相差 1 位以上。再有，把自然的视觉量划分为 0 到 5 的 6 个等级，也制成方格地图。所谓自然的视觉量就是对绿地的视觉量，6 个等级分法为：0 只有人工建筑物；1 有低矮的庭园树木等；2 某一地区从任何地方也看不见绿地，但在地区内仔细查找，可看到有残留的

* 集落（Settlement, colony）：是指由房屋及其附带的土地、道路、水路、空地等组合而成的人类共同生活单位的总称。——译者注

绿地；3 从任何地方远望都能看见高大的榉树及其它树木；4 站在任何地方都能看见大片绿地，5 没有障碍物，满眼是绿地。这样的定量化研究虽然还是尝试，还没有定论，但这一方向是值得重视的。

随着城市化时代的进展，品田（1972）[113] 对城市居民脱离城市的行动范围——游览圈，特别是当天可以返回的游览圈进行了探索。利用文献、过去的地图、航空照片及其它资料，以标准方格为单位，对市郊自然环境的变化进行研究。品田将当天可以往返的游览圈看成是城市生态系统外观上的范围。宏观地看，这种城市生态系统在江户中期以后呈均衡地扩大状态使人口密度保持在 1500 人/平方公里的水平，可是以 1955 年前后为转折，这种均衡被破坏了。这种现象，除了受空间和交通手段的制约使系统内的人口密度不能保持在上限以内之外，还与城市生态系统内部环境恶化有关。这个情况和东京自然史研究会(代表：品田穰)调查的东京周围野生小动物的退却前线非常类似，因此较为可靠。

Clawson（1969）[114] 对休养游览分析的结果如表 4.1 所示，这与品田的当天可以返回的行动圈很相似。即 Clawson 也认为野外游览的主要范围是当天可以返回的类型（one-day

表 4.1　1959 年度来到 Lewis 和 Clark Lake 的人次占总人口的比率和费用（Clawson, 1969）

距离范围	总人口(1950) 单位：千人	6—8 月来访人次(1959)	人口每千人中的来访人次	平均单程距离	来访者平均费用（4 人为 1 组）
1. <50 英里	88	333	3784	18	3.70 美元
2. 50—100	407	363	892	70	13.80
3. 100—150	474	50	106	123	27.10
4. 150—200	1055	161	153	175	37.90
5. >200	5558	20	4	228	41.25

outing type)。

但是，Clawson 是以作为新的城市资源（urban resource）的开放空间的观点做解释的。对城市周边，是做为城市资源，还是看做城市生态系统的一部分，这种不同看法导致城市观的变化。如前所述，城市是个开放系统，通过公路、铁路、飞机等对外联系，通讯也是这样，还有被污染的水和空气的流动，以及人和物资的进出。尽管如此，但城市毕竟是一个特殊枢纽（nodal characteristics = nodality），这一点无论从自然现象看，还是从社会经济现象看，都是不能不承认的（Perloff, 1969）[7]。

Perloff 还指出，生产必需品时不可缺少的自然环境各要素，如耕地、林地、河流、湖泊以及其它，最近被看成是市民的舒适性资源（amenity resources）。这种舒适性，以气候、地形、海岸等自然要素为基础，是对经济活动和家庭生活有魅力的场所，而且是为市民提供新鲜空气和游览场所的开放空间资源。在广义的城市环境中，这种舒适性资源有（Atkinsson 和 Robinson, 1969）[115]：公园、看得见的山丘风景、听得到的山丘上高低树木的涛声、感受到植物群落的芳香、具有幽静感以及私生活不受干扰的地方等。相反地作为不舒适的条件（disamenities）可以举出：横穿公园的汽车路、遮挡视野的烟雾、产生噪音的交通线路、侵扰私生活的山丘开发等。上述舒适性既然是城市生活不可缺少的，那么把包括舒适性资源在内的范围看成是城市生态系统也许是恰当的。

表 4.2 是表示东京的魅力和缺点的调查资料之一，看过此表，城市生活的优点和缺点即可一目了然，来自自然的舒适感，城市里是特别缺乏的。京都市开发局（1969）[116] 也绘制过京都市区生活环境图集。本节关于生活环境综合评价的看法是：(1)综合的环境适住性，这是对 34 项居民反应因子分析

所得到的第1因子，这是表示综合性的环境质量的因子，即表示适住性的因子；(2)设施度-自然度，这是因子分析中的第2因子，若将因子负荷量从正负两方面来看，作为与设施环境有关的可被分为两组，这些又与舒适性、保健性、安全性、便利性四组是完全相对应的；(3)第3因子是将第2因子的设施度、自然度各分为二，表示为下述的四个行政侧面，即设施使用的方便程度、管理程度、公害程度以及宽裕程度等。为进行上述分析，把自然环境、城市机能、人口密度、城市公害、灾害、生活环境设施、儿童的环境等七个项目分成更小的项目，绘制了详细的地图。以这样的考察为基础，对生活环境试行综合评价的尝试是值得重视的。

表4.2 东京的魅力和缺点[1)]

魅力			缺点		
顺序	项目	比率	顺序	项目	比率
1	能享受文明的恩惠	47.7	1	交通事故多	54.1
2	便于子女受教育	42.2	2	缺乏自然景物	45.1
3	有丰富的消费生活用品	39.6	3	对健康不利	36.6
4	有各种各样的工作	39.6	4	物价高昂	33.6
5	人间交往简单	27.9	5	因公害人心不安	24.0
6	能发挥才能	27.5	6	人多混杂，令人焦躁	22.4
7	能过自由的生活	16.2	7	住宅环境恶劣	19.6

1) 根据东京青年会议所"东京都居民生活意识综合研究报告书"

小　结

要想开展对作为人类环境系统的城市生态系统作论述，目前是很勉强的，还必须积累更多的基础资料。但根据上述内容，也可以了解到有关城市生态系统的很多情况。也许有人说，即使没有蜻蜓和蚂蚁对人类生命也不会发生异常的变

化。但可以说这是生态平衡开始遭到破坏的最好证据。当然，绿地率和蜻蜓之间是复杂的因果关系锁链上的环节，并不表示直接的因果关系。在生态系统中有食物链等复杂的相互制约关系，周期性地酿成某种生物的急剧发展或衰退。把城市这一怪物，用以人类为中心的生态系统的观点去观察时，说起来容易，真正分析其因果关系就十分困难。我们的研究也不过是个开头，对其一端做了素描式的叙述而已。

最近承大野正男氏的好意，读了横山又次郎早在40年前(1933)写的《城市化是什么》的论文[11]，感受颇深。他把当时使用的"城市化"(urbanism)一词，以人口向城市集中为中心内容进行了论述，并提出警告说，城市化是各种文化发展的衰老期，是走向世界的末日。当然那样说不见得完全恰当，但城市生态系统的实际状态目前并未解释清楚。不能不令人感到城市生态学的研究还是一纸空白！

参 考 文 献

1) 科学技術庁資源調査会：これからの都市生活環境 (1970).
2) Montefiore, H. : Can Man Survive? W. Collins Sons, London (1970).
3) リンゼー. J. V. : 都市の未来と市民の交通, とうきょう広報 No. 267. 26-27 (1973).
4) 美濃部亮吉：東京の都市問題, とうきょう広報 No. 267, 30-31 (1973).
5) 浅田孝・吉阪隆正：文明批評から環境問題を考える (対談). 環境創造 2(8), 1-7 (1972).
6) 沼田 真：自然保護と農業, 農業構造問題研究 No. 65, 101-109 (1972).
7) Perloff, H. S. : A framework for dealing with the urban environment. Perloff, H. S. ed. The Quality of the Urban Environment, 1-31 (1969).
8) Gottman, J. : Megalopolis (1961) ——ふくれあがる都市——メガロポリスの現状と将来, 朝日新聞座談会 1973. 6. 29.
9) グレゴー農業地理学, 山本正三他訳, 大明堂 (1973).
10) 吉良竜夫：都市公害と自然, 岩波講座. 現代都市政策, 第6巻, 都市と公害・災害, (1973).
11) 美濃部亮吉：世界大都市会議基調演説, とうきょう広報 No. 267, 10-11 (1972).
12) Kratzer, A. : Das Staatklima (1937).
13) 吉野正敏：都市の気候と生活, 環境情報科学 1 (2), 8-13 (1972).
14) 吉野正敏：都市気候小史 I, II, 天気 4, 21-25, 51-55 (1957).
15) 大後美保・長尾隆：都市気候学, 朝倉書店 (1972).
16) Landsberg, H. E. : City air-better or worse. U. S. Public Heath Service : Symposium : Air over Cities. 一井関[17] による.
17) 井関弘太郎：人間の作った自然, 地理 18 (1), 42-49 (1973).
18) Wagner, R. H. : Environment and Man. W. W. Norton, N. Y (1971) ーとくに Chapter 19. The urban and suburban environment.
19) Landsberg, H. E. : Man-made climatic changes. Part 2. *The Environment. This Month.* 1 (2), 20-28 (1972).
20) SMIC : Inadvertent Climatic Modification. MIT Press (1971).
21) Ryd : Building Climatology. *WMO Technical Note* 109 (1970).
22) Georgii, H. W. : Untersuchungen über Ausregnen und Auswaschen atmosphärischer Spurenstoffe. *Ber. Deut. Wetterdienstes* No. 106 (1965)

—SMIC (1971) による.
23) 奥富清・川津雄一：都市化と植生の配分，沼田真編：都市生態系の特性，45-53 (1973).
24) 設楽寛：都市環境，地理 16 (8)，6 (1671).
25) 川名明・相場芳憲：都市林における水環境の変化とその影響，森林立地 13 (1)，17-21 (1971).
26) 工業用水に食われる地下水，朝日新聞京葉版 1971，5，7.
27) 市川正己：都市化に伴う水の循環過程の変化，沼田真編：都市生態系の特性，121-137 (1972).
28) 丸山明雄・岩坪五郎・堤利夫：森林内外の降水中の養分量について（第1報），京大演報 No. 36，25-39 (1965).
29) 岩坪五郎・堤利夫：同（第2報）. Ibid, No. 39, 110-124 (1967).
30) 佐藤治雄：都会の雨と植物，バイオテク 3 (2)，123-130 (1972).
31) Tokyo Metropolitan Government : Tokyo Fights Pollution. An Urgent Appeal for Reform. (1971).
32) 科学技術庁資源調査会：高密度地域における資源利用と環境保全の調和に関する勧告，同付録，写真図表集 (1972).
33) 三寺光雄・菅原十一・千羽晋示：都市環境の変化と生物群集，沼田真編：都市生態系の特性，45-51 (1972).
34) Sadeh, W. Z., J. E. Cermak and T. Kawatani : Flow over high roughness elements. *Boundary-Layer Meteorology* 1, 321-344 (1971).
35) 本多伴：都市林の機能，沼田真編：都市生態系の特性，59-82 (1972).
36) Chemical Week：植物と土壌から環境汚染度を測定，日経ビジネス 1972. 1. 24 号，120 (1972).
37) 浜田竜之介：都市生態系と土壌，沼田真編：都市生態系の特性，111-120 (1972)，27-87 (1973).
38) 沼田真：都市生態系の特性に関する基礎的研究，佐々学・山本正編：人間生存と自然環境，59-69，東大出版会 (1972).
39) 奥田重俊：自然教育園に生育するスダジイ巨木群の現状とその保護について都市林の保護に関する生態学的考察，自然教育園報告 No. 3，1-16 (1972).
40) 奥田重俊・矢野亮：都市環境における森林群落の推移，沼田編：都市生態系の特性，1-11 (1972).
41) 奥田重俊：自然教育園の植物，1-44 (1965).
42) 沼田真・手塚映男：自然教育園内植物群落の組成と構造，自然教育園の生物群集に関する調査報告第1集，15-36 (1966).
43) 手塚映男：自然教育園のミズキ群落の組成と構造，自然教育園報告 No. 2，

1-15 (1970).
44) 大賀宣彦・矢野亮・沼田真：都市林における遷移 I，沼田編：都市生態系の特性，12-32 (1972).
45) 矢野亮・大賀宣彦；未発表 (1972).
46) 鈴木由吉・矢野亮：都市林におけるアオキの繁殖，沼田編：都市生態系の特性，67-82 (1973).
47) 小滝一夫・岩瀬徹：自然教育園内の人里植物の分布と遷移，自然教育園の生物群集に関する調査報告 No. 1，49-61 (1966).
48) 林一六・沼田真：遷移からみた埋土種子集団の解析IV，マツ過熟林とスダジイ極相林（予報），Ibid., 62-72 (1966).
49) 林一六・矢野亮・沼田真：自然教育園内のスダジイ林およびコナラ林の種子落下と埋土種子集団，沼田編：都市生態系の特性，83-86 (1973).
50) 奥田重俊：未発表 (1972).
51) 矢野亮：新しい虫たちの登場—二つの昆虫の大発生，自然科学と博物館 40 (2)，79-82 (1973).
52) 桜井信夫：東京都 23 区内の 2-3 の緑地における繁殖鳥類の年変化について，沼田真編：都市生態系の特性，83-96 (1972).
53) Li, H. L. : Urban botany : Need for a new science. *Bio Science* 19 (10), 882-883 (1969).
54) 科学技術庁資源調査会：都市生活環境の保全と森林との関連に関する調査報告，資源調査会報告 No. 58 (1970).
55) 門田正也：都市林の大気清浄化作用，科学技術庁 (1969).
56) 千葉県農林部林務課：京葉臨海工業地帯保安林整備調査報告，科学技術庁資源局，森林 225，保護 14 (1967).
57) 本多侔：都市公害対策としての樹木群の公害防止効果について，公園緑地 27，3 4，59-66 (1969).
58) Cook, D. I. and D. F. Van Haverbeke : Trees and shrubs for noise abatement, Forest Seru., U. S. D. A. *Res, Bull*, 246 (1971).
59) 座談会：緩衝緑地帯，環境情報科学 1 (4)，29-34 (1972).
60) Bradshaw, A. D. T. S. McNeilly and R. P. G. Gregory : Industrialization and the developmant of heavy metal tolerance in plants. Goodman, G. T. et al. ed. : Ecology and the Industrial Society, 327-344 (1965).
61) 門司正三：植物の汚染環境改善機能に関する研究，研究経過報告，1-3 (1973).
62) 奥田重俊：植生図で診断する東京都区内の緑，自然科学と博物館 40 (2)，83-88 (1973).

63) 沼田真：地域開発と生態学，地域開発 No. 251, 1-8 (1971).
64) 小林彰夫・沼田真・大賀宣彦：都市植生形態に関する化学的相互作用物質の検索，沼田真編：都市生態系の特性，102-110 (1972).
65) Numata, M A. Kobayashi and N. Ohga : Studies on allelopathic substances concerning the formation of the urban flora, Numata, M. ed. : *Studies in Urban Ecosystems*, 59-64 (1973).
66) 生沢万寿夫：都市の生物，宝月欣二・吉良竜夫・岩城英夫編：環境の科学，341-359，日本放送出版協会 (1973).
67) 加藤辿：都市が滅ぼした川，多摩川の自然誌，中公新書 (1973).
68) 中村守純：都内にふえた淡水魚，とうきょう広報 4 月号，18-19 (1973).
69) 桜井信夫：東京の鳥のはなし，自然科学と博物館 40 (2)，65-67 (1973).
70) 奥富清ほか：都民と自然環境(座談会)，とうきょう広報 No. 263, 19 (1972).
71) 桜井信夫：ペートトラップによる東京都の自然環境調査，自然保護協会 (1971)，都民を公害から防衛する計画，363-367 (1972).
72) Turček, F. J. : A micropopulation of the house sparrow, *Passer domesticus* L. in urban habitat observations. *Intern. Studies on Sparrows* 6 (1), 24-30 (1972).
73) 浦本昌紀：新動物誌 (8)—スズメ，朝日新聞 9 月 27 日夕刊 (1973).
74) Hayashi, I. and M. Numata : Ecology of pioneer species of early stages in secondary succession, II. The seed production. *Bot. Mag. Tokyo* 81, 55-66 (1968).
75) 大野正男：東京都区内における土壌動物の分布 (1)，沼田真編：都市生態系の特性，148-156 (1972).
76) 品田穣・富岡英通：都市生態系の動態に関する研究II，自然環境の動態，沼田真編：都市生態系の特性，148-156 (1972).
77) 千羽晋示：動物の生息環境の変化と退行現象，自然科学と博物館 40 (2)，69-73 (1973).
78) 沼田 真：生態学方法論，古今書院 (1953, 改訂版 1967).
79) 沼田 真：指標植物，*Cosmos* 2 (2)，8-11 (1963).
80) Clements, F. E. : Plant Indicators, Carnegie Inst. Wash. (1920).
81) Schnelle, F. : Pflanzen-Phänologie. Leipzig (1955).
82) Raunkiaer, C. : Life-forms of Plants and Statistical Plant Geography. Oxford (1934).
83) Clements, F. E. and G. W. Goldsmith : The Phytometer Method in Ecology. Carnegie Inst. Wash. (1924).
84) SCOPE : Global Environmental Monitoring (1971).

85) 奥富清・揚石優・高崎康隆：都市植生の特質に関する研究一とくに都市林の組成的・構造的特質について，沼田真編：都市生態系の特性，155-66 (1973).
86) Goodman, G. T. et al. ed.：Ecology and the Industrial Society. London (1965).
87) Gilbert, O. L.：Lichens as indicators of air pollution in the Tyne Valley. Ibid, 35-48 (1965).
88) Gilbert, O. L.：The effect of SO_2 or lichens and bryophytes aronnd Newcastle upon Tyne. Air pollution. Proceedings of the First European Congress on the Influence of Air pollution on Plants and Animals, 223-235 (1969).
89) Skye, E.：Lichens and Air Pollution. A Study of Cryptogamic Epiphytes and Environment in the Stockholm Region. *Acta Phytogeogr. Suecica* 52 (1968).
90) Barkman, J. J.：Phytosociology and Ecology of Cryptogamic Epiphytes. Assen (1958).
91) Barkman, J. L.：The influence of air pollution on bryophytes and lichens. Air Pollution, 197-210 (1969).
92) Kurokawa, S.：Preliminary studies on lichens of urban areas in Japan. Numata, M. ed,：*Studies in Urban Ecosystems*, 80-85 (1973). 黒川逍：都市における地衣類の分布，沼田　真編：都市生態系の特性，97-101 (1972)，87-97 (1973).
93) Sugiyama, K.：Distribution of *Parmelia tinctorum* in urban area in Japan. 蘚苔地衣雑報 6 (6)，93-95 (1973).
94) 東京都公害局監察部大気汚染総合測定室：汚染質測定結果報告 (1972).
95) 静岡市：静岡市における公害の概況 (1972).
96) 清水市：環境条件調査報告一大気関係 (1972).
97) Taoda, H.：Mapping of atmospheric pollution in Tokyo based upon epiphytic bryophytes. 日生態学誌 22 (3)，125-134 (1972).
98) 坪田宏：大気汚染物質が蘚苔類に与える影響，1. 亜硫酸ガスに対する耐性，ヒコビア 6 (3-4)，238-250 (1973).
99) 井上浩：都市環境とコケ類，植物と自然 6 (10)，7-10 (1972).
100) Thomas, M. D.：The effect of air pollution on plants and animals. Ecology and the Industrial Society, 11-34 (1965).
101) 佐藤治雄・庵原遜：大阪市内の雨水が植物の生長に及ぼす影響，大阪市公害対策部：大気汚染の植物に及ぼす影響調査報告書 (1968).
102) 沢田正・大平俊男：植物による大気汚染の調査，植物と自然 7 (5)，11-16

(1973).
103) Treshow, M. : Environment and Plant Response. McGraw-Hill (1970).
104) Taoda, H. : Bryometer, an instrument for measuring the phytotoxic air pollution. *Hikobia* 6 (3-4), 224-228 (1973).
105) 清野幸人・喜安光男・佐藤亨：ソバを用いた大気汚染検出用植物計の考案，日本作物学会大会講演要旨，91 (1973).
106) 尾立正人：金沢市におけるモミの枯損調査，災害科学研究会 (1972).
107) 栗田勇：都市の意味，価値としての都市文明，地域開発ニュース No. 69, 25-29 (1973).
108) 鈴木啓祐：都市化と環境変化のモデル分析，沼田真編：都市生態系の特性，195-213 (1973).
109) 籾山政子：季節病カレンダー，講談社 (1963).
110) 山本正三：都市地域における人口分布と土地利用の変化，沼田真編：都市生態系の特性，136-137 (1972).
111) 山本正三：東京西部における農地利用の変化，沼田真編：都市生態系の特性，157-188 (1973).
112) 品田穣：都市生態系の動態に関する研究Ⅲ，自然環境の動態，沼田真編：都市生態系の特性，189-193 (1973).
113) 品田穣：同Ⅱ，東京都における日帰り行動圏の動態，Ibid., 138-147 (1973).
114) Clawson, M. : Open (uncovered) space as a new urban resource. Perloff. H. S. ed. : The Quality of the Urban Environment, 139-175 (1969).
115) Atkinsson, A. A. and I. M. Robinson : Amenity resources for urban living. Ibid., 177-201 (1969).
116) 京都市都市開発局：京都市市街地生活環境図集 (1969).
117) 横山又次郎：都市化とは何の謂か，地学雑誌 45 (537), 517-519 (1933).

第三编　城市的物质代谢

安部喜也　半谷高久

第1章　作为物质代谢系统的城市

1.1　绪　　言

现在，不论全世界或日本，城市发展都很快。在那里，生产或消费的物质是大量的，从质上看种类繁多。在这些物质生产和消费过程中，消耗大量的空气、水、能源等自然资源。随着经济活动的扩大，形成了城市特有的环境条件，这些条件使市民生活产生多种矛盾，导致生活环境恶化。这是众所周知的。

本编为了从这样的物质方面理解城市环境的特点，导入地球化学的观点，把城市当做一个物质系统，阐明各种物质及能量的收支、转移、变化。也就是把城市比做一个生物体，阐明其物质代谢，以这作为城市生态学的基本知识。估计这将有助于解决各种环境问题，所以试从这种观点作了研究整理。

对于进入和流出城市物质系统的一切物质，以化合物或元素为单位进行定量记述，阐明其在城市内部循环过程中发生变化的机制，这就是我们的目的。但，目前这方面研究报导贫乏，资料不足，因而不可能进行全面记述，只能举出一些事例，对这种观点加以说明。

从城市物质代谢的观点进行的研究，有 Wolman[1] 对美国两三个城市的水和化石燃料的收支所作的研究，以后从这一观点出发提出若干典型事例[2]，但对大多数项目没能举出具体数字，以记述其收支平衡。

对于城市物质系统的物质及能源收支问题的概括模式图，可以设想如图 1.1。从市外进入市内的物质，有建筑材料（木材、水泥、石料、钢材等）、生产资料（机械设备等）和生活用品（纤维制品、家具等）等等。其中有些要蓄积（或长期停留）于城市空间之内；有些象生产原料、食物、燃料等很快被使用，改变其形态；也有在城市内不发生变化，仅仅做为商品通过城市而已。

这些物质经过火车、轮船、汽车等运进城市。石油、天然

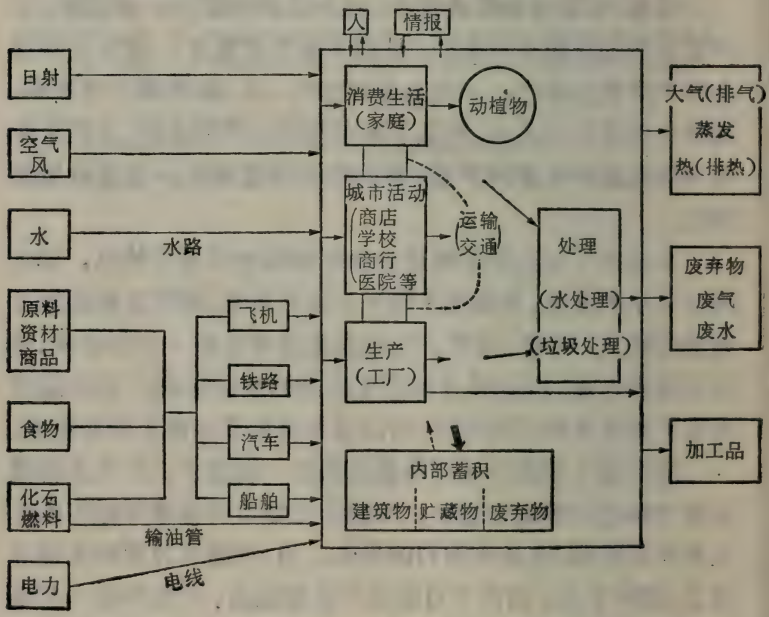


图 1.1　城市的物质、能源代谢

气等燃料，一部分通过管道连续不断流进；水，除河水、地下水、雨水等自然流入外，还通过水渠、水管人为地输入；空气及其中含有的成分，以风的形式，自然地吹进城市。在能源方面，太阳光线自然地照射，电力则通过电线输送进来。

进入城市空间的物质之中，一部分流通物质，保持原形，再到城外。大多数物资随同城市的各种人类活动，发生物理的、化学的变化。

木材、钢材、石材等等蓄积于市内，作为城市的结构物而形成城市的形态，同时也扩大了城市的空间。生产原料在市内加工后，一部分用于市内，一部分运出市外。加工时出成品，同时也产生各种工业废弃物。废弃物的一部分蓄积于市内，一部分被处理掉，还有一部分未经过处理抛在市外。

食物方面，也有加工之后运出城外的，但大部分在城市内消费掉，变成为人类活动的能源和身体的组成部分。进入人体的食物并不能完全被有效地利用，一部分在体内未被吸收，而与身体代谢的废物一起排出体外。

在污水处理场和粪尿处理场，被处理的排泄物进行分解，以二氧化碳、甲烷等气体成分，随着空气转送到城市系统以外，但同时也产生固体的残渣。还有一部分粪尿未经处理就运到市外，抛弃到山林和海洋之中。

石油、煤、天然气等化石燃料，做为能源燃烧时，产生的废气大部分形成二氧化碳排到空气中，但同时也产生以硫的氧化物为主的各种有害物质，成为空气污染的原因。此外还产生煤烟和焦渣等固体废弃物。对这种有机物的循环，后面还要作较为详细的介绍。

机械能、电能以及用其他各种形式使用的能，绝大部分最后成为热能，暖化城市，通过辐射或传导散发到空中。

水，一部分做为原料经过加工成为产品，或蒸发后返回空

气中去，或做为生物体的成分留在城市内部，但大部分是经过各种用水途径后再流出去的。这时，有各种物质混在水中运走，发生水质污染。

空气，通过呼吸和有机物、无机物的氧化，一部分氧气被消耗，其余空气连同二氧化碳和其他由各种污染源产生的气体以及粒子成分一起转送到城市系统以外。

总起来看，向外输出的主要是各种加工品、流通商品、固体废弃物、空气（包含污染气体）、废水（含有污染物质）、废热等等。废弃物不能排出市外而蓄积于城市内部的一部分，即所谓垃圾问题，已形成很棘手的城市问题。

不考虑城市内部物质循环，参照黑箱（Black box）系统，以元素为单位表示物质量（不伴有化学变化的物质，也可以化合物为单位）时，如只注意其收支，承认质量及能量不灭定律，则一定期间的收入量就该同内部蓄积量的变化和支出量之和相等。即：

$$\begin{cases} (M_{I_1} + M_{I_2} + \cdots + M_{I_n}) \\ \quad = (\Delta M_1 + \Delta M_2 + \cdots + \Delta M_n) \\ \qquad + (M_{O_1} + M_{O_2} + \cdots + M_{O_n}) \\ (E_{I_1} + E_{I_2} + \cdots + E_{I_n}) \\ \quad = (\Delta E_1 + \Delta E_2 + \cdots + \Delta E_n) \\ \qquad + (E_{O_1} + E_{O_2} + \cdots + E_{O_n}) \end{cases}$$

上式 M_{I_i} 和 E_{I_i} 分别代表进入城市系统的各种形式的物质量和能量，ΔM_i、ΔE_i 为城市内物质量和能量的变化，M_{O_i}、E_{O_i} 为排出到城市系统以外的物质量和能量。

这种关系不仅对于整个物质量是成立的，在可以不考虑核反应时，对于各种元素也是成立的。发生化学变化时用化合物单位是不行的。在能量方面，几乎都有形态改变，所以收

支平衡不是对各种不同形态的能量说的，而是对整体说的。质量不灭的关系，在伴有原子核变化的反应时，就严格的意义说，未必能成立，要以与能量之和来理解不灭定律，这是人所周知的。在讨论进出城市的全部物质量时，这一点几乎可以不必考虑在内。当城市内大量使用原子能时，则需要更详细地研究。

以上的论述是根据东京、大阪那样的城市来考虑的。但着眼于物质及能量收支的研究方法，可适用于任何城市。当然各地地理、历史条件不同，在物质收支方面又会得到具有特殊性的结果。

1.2 物质及能量转移的形态

物质和能量进入城市，再从城市出去，其主要原因，有自然方面的、社会方面的等等。而物质运转的形态则是多种多样的。

实际上，靠什么手段运转物质，或各种运转方法的比率本身，就反映了城市生活的特点，这是个很有意义的问题。现就物资运转的形式试行分类整理。这样的整理，对于在实际调查物资收支或收集统计资料时，查对有无遗漏问题上是有用的。

A. 物质的转移

1）用机械、工具的搬运、输送

i）用机械力的——这在现代城市起着主要作用，如铁路、汽车、船舶、飞机、传送带等。表 1.1 以东京为例，表示在现代城市中汽车作用之大。

ii）用人力、畜力的——在现代城市里运输量是很少的，

如自行车、马车。

2）用动物的运输

i）生物体自身的移动——人、畜移动时，当然形成其身体的物质也就移动了。大城市每天上班、上学的生物量移动是很大的。

ii）由人、动物搬运的物资——衣服、皮包等人们带在身上的物资和人一起移动。也有用动物驮着搬运的物资，特别是在中近东城市，现在尚有骆驼和驴在运输物资上起重要作用的地方。还有病原微生物等微量特殊物质，也是值得研究的。

表 1.1　各种运载工具的输送量（东京都）

	区域内	流　出	流　入	计（区域内＋流出）
铁　道	440,223（吨）	9,125,531（吨）	12,471,647（吨）	9,565,754（吨）
海　运	373,583	5,233,618	31,045,622	5,607,201
汽　车	239,106,690	94,030,720	92,186,872	333,137,410
计	239,920,496	108,389,869	135,704,141	348,310,365

（1969 年，运输省“货物地区流动调查”）

3）借助于流体移动的

i）流体自身的移动——空气以及其中含有的气体成分，不经过特定的通道，整体地在城市流入、流出。必须通过特定通道的，有河水那样的自然途径，也有上水道、水渠、下水道、煤气管道、石油管道等人工途径的。地下水介于两者之间，有整体的流动，也有局部的流动。由降雨及蒸发产生的水的移动，也可以归纳在这一项内。

ii）借助于流体的移动——例如溶解、混悬或漂浮在河水或污水中移动的物质，其数量是很大的。这正是水质污染现象。空气中也有各种气体和微粒，由风运送，所以发生空气污染问题。

B. 能源的输送

1）作为物质的移动——以化学能源的形态，石油、煤、天然气等能源物资的输送量很大。特别是输入量大，在城市系统内经燃烧改变能源形态加以利用。在能源中也有象食品那样的经过比较缓慢的反应发出能量的。还有如木材、纸制品等本来不是作为能源的物质，成为废弃物后当做垃圾燃烧而产生热能的。

由放射性物质发生的原子能，目前在城市里虽然基本上还没有当做能源使用，但也应加以考虑。

还有不以化学能源形式，而是通过物质、空气和水那样的流体为媒介而传送热能的。如城市上空空气的加热或工厂、电厂由于排放热水而放出的热等。

此外还有通过岩石或土壤传导而来的地热的移动。

2）电线输送——在城外发出的电力，通过电线输入城市。城市内的送电当然也靠电线。使用电线的还有电话，这主要是为了传递情报，作为能量来说，意义不大。

3）由辐射而来的——直接由辐射而来的能源收支项目是重要的。最主要的是来自太阳的辐射能。城市本身放射出的热、光、电波等也属于这一类。

4）由振动而来的——也要考虑以物质为媒体的力学的能源的移动。如地壳振动的地震、空气振动的声音、海边的波浪等等。其特点都是一时性的而不是连续性的。

如上所述，物质和能量移动的形态是多种多样的。这些常常不是单独发生，而是在变化中互相掺杂着进行的。以汽车运输物资为例，运载货物的同时，也运载做为生物体的司机和汽油（能源），同时排出热量，排出含有各种成分的废气。这种情况在任何现象中，都或多或少地可以看到。

1.3 城市的物质积存量

在某一时间，城市空间内，存有何种物质，各有多少，是追迹调查物质运动时的基本内容。在城市内存在的物质的全体质量叫积存量（standing mass）。这也可当做各个物质的总量，但如不特定某种物质时，可当做表示物质全体的总量。然而，实际上确定城市上下方向的界限是困难的，所以规定为不包括城市的岩石圈在内。如前所述，在一定的时期内物质收支之差就是这个积存量的变量。

存在于城市内部的物质，可以大致分为两类：树木等等的自然物质和房屋等等的人工物质。这种分类有时也不一定很明确。观察每一物质时，还会发现，在进入城市之后，有在较短时间又到市外去的，有停留较长时间的，其中也有几乎永久

	停留时间长的	停留时间短的
自然物	土地（土壤、岩石） 动物 植物 人类	空气 水 人类
人工物	构造物（公路、桥梁） 建筑物（住宅、学校） 屋内设备（家具、机器） 交通工具（汽车）	一般消耗物质（食品、燃料） 交通工具
	服装	
	书籍	报刊
	贮藏物质	
	废弃物（垃圾）	废弃场

图 1.2 在城市里物质的积存情况

表 1.2　东京都市区：建筑物构成材料的现存量（1970 年）（空栏是数据不足的地方）单位：吨

资　料	建筑物								合　计
	建筑物	地下街	公　路	铁　路	桥　梁	隧　道	上水道	下水道	
砂、石料	118,000,000	1,930,000	66,800,000	5,070,000	3,100,000	6,040,000	584,000	2,940,000	204,000,000
稻草、麦杆、苇制品	262,000								262,000
预制件、其他木制品	10,900,000								10,900,000
建设用土石制品	6,250,000								6,250,000
平板玻璃、其他玻璃制品	610,000							153,000	763,000
水泥	14,800,000	323,000	178,000	59,900	476,000	983,000	95,200	477,000	17,400,000
钢材、钢铁制品	11,100,000	115,000	3,550	197,000	642,000	317,000	622,000	182,000	13,200,000
铜制品	48,400								48,400
铝制品	4,780								4,780
铅制品	33,000								33,000
沥青			1,690,000	12,500	15,300				1,720,000
合　计	162,000,000	2,370,000	68,700,000	5,340,000	4,220,000	7,340,000	1,300,000	3,750,000	255,000,000

停留在市内的。这就是说，可以对各种物质的停留时间进行考查。

停留时间受物质种类、物理化学性质、用途、社会经济条件以及其他复杂因素的支配。对停留时间做定量的研究还无先例，进行定性研究表示一般趋势是可能的(图 1.2)。

停留时间长的有公路、建筑物等建筑、这些相当于形成城市的骨架或容器。还有几乎不移动的物质以及象地铁车辆那

表 1.3　东京都市区：建筑物构成材料的

资料		砂石、石材	稻草、麦杆、苇制品	预制件、其他木制品	建设用土石制品	平板玻璃、其他玻璃制品	水泥
材料现存量		204,000,000	262,000	10,900,000	6,250,000	763,000	17,400,000
元素	Al	14,500,000			663,000	610	507,000
	C	3,060,000	121,000	5,450,000			
	Ca	8,570,000	4,720		144,000	42,500	7,980,000
	Cu						
	Fe	8,160,000			306,000	8,030	402,000
	H	735,000	14,400	654,000			
	K	4,900,000	3,670	54,500	50,000		
	Mg	3,270,000			113,000	18,400	169,000
	N		8,130	54,500			
	Na	1,710,000				43,700	79,500
	O	104,000,000	109,000	4,580,000	3,030,000	358,000	60,040,000
	Pb						
	S						
	Si	55,500,000			1,910,000	256,000	1,780,000

样迅速移动的、但只在内部循环不到市外去的物质。另一方面，停留时间短的则有食品、燃料、水等变动迅速的物质。

此外，象纸那样虽然是同一类物质，但报纸停留的时间短而放在图书馆的图书则停留时间就长等等，因用途不同而不同。从长期停留的物质的使用情况来看，有象建筑物那样现在正被使用的；也有象垃圾堆那样，已经失去使用价值，成为城市负担的；还有暂时不用为将来使用而贮存的。

各种元素存在量（1970 年）　　单位：吨

钢材、钢铁制品	铜制品	铝制品	铅制品	沥　青	合　计
13,200,000	48,400	4,780	33,000	1,720,000	255,000,000
		4,780			15,700,000
				1,430,000	10,100,000
					16,700,000
	48,400				48,400
13,200,000					22,100,000
				155,000	1,560,000
					5,010,000
					3,570,000
				17,200	79,800
					1,830,000
				51,700	118,000,000
			33,000		33,000
				68,900	68,900
					59,400,000

对具体的城市，按物质类别，对积存量进行完整报导的，还没有见到。调查方法也尚未确定，存在很多问题。对一切部门通过实际调查直接了解物质的量和质，在理论上可以设想，但实际上几乎是不可能的。目前，不得不利用各方面的统计资料采取间接推算的方法。

在目前这种情况下，可以利用照片，特别是航片作为推算建筑物和树木的体积、质量的重要辅助手段。

例如，就东京都内物质积存量中，形成城市物理构造的主要建筑物，就使用了不同元素积存量推测值（1970 年度）进行过表示[3]。

取材对象为建筑物（钢筋、钢筋混凝土建筑，木造建筑，混凝土构件建筑）、公路（沥青、水泥）、桥梁、隧洞、铁道、地下街道、上下水道等等。推算方法如下：如对于建筑物，用每单位面积的材料量乘总建筑面积，得出东京都内的物资材料类别的存在量；再乘各物资材料每单位平均含有各元素的比率，求出各元素的总量。

结果为表 1.2，1.3 所示。元素含有量只限于主要的，因为并不是对一切材料和元素都很清楚。即使是微量成分，当材料量大时其绝对量也是大的，这点不应忽视。

从整体看，多为 O＞Si ＞ Fe ＞ Al＞Ca＞C 这样的顺序，清楚地反映出钢铁和水泥城市的特征。

这种趋势，从现在继续进行的各种基建工程来看，将越来越明显。

如果追查一下积存量的历史性变化，再与其他城市作一比较，其特点将更为明显。

第2章　城市的水循环

2.1 水　循　环

水是城市里流量最大流速最快的物质之一，不论从实际应用上还是从理论研究上看，城市地区内水的动态，都具有重要意义。

城市内水循环的模式，有水渠、上水道等人工控制系统中的循环以及雨水的地面水流和地下水流等自然的循环，两者互相结合错综复杂。在自然的循环方面，即有因沥青、房屋等遮盖地面，使向地下渗水发生量的变化，也有因植被减少而发生的蒸发量的变化等等。受到这种非预期的人为影响的事例很多，由此而形成了特殊的城市水文学。

就东京都来看，上水道进水量1970年是1640×10^6吨，为该区域内年降水量641×10^6吨的二倍以上，可见人为的水循环在城市占主要地位。以东京都区域用水为中心的水流模式绘制出如图2.1那样的系统，并根据各方面的资料推算出1970年度各个部分的数值。然而，把这种按水循环的分支系统取得的统计资料集中整理为整个水循环系统时，目前还不能提供足以进行深入研究的资料。要想搞好整个城市的合理用水，这方面的资料必须首先补上。

这样大量的水靠人工管理，按人工安排去流动，其结果水流向与自然水系不同的流域。东京都的上下水道布局非常复杂，如图2.2所示，使利根川水系和相模川水系的水流入了东京湾[5]。

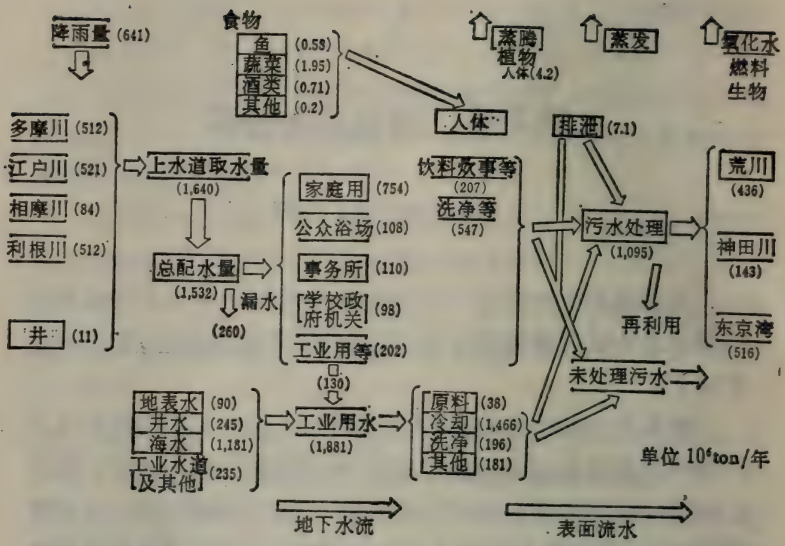


图 2.1　东京 23 个区内的水循环(1970 年)。

象这样打乱了自然的水循环模式，对植被会有什么样的影响，也是一个问题。

2.2　随同水循环而发生的物质移动

随同城市内部的水的流动，有很多物质也同时随水移动。

在上水道和下水道里流动的水，不是单纯能以 H_2O 的化学式来表示的水分子，而是含有溶解形态或混悬物的各种有机物和无机物。所以，这些物质随着水流而移动，通过自然的或人为的过程进入水中或从水中移出。人为地使水和外部之间发生物质交流，大体上可分为三个阶段，即各种类型的用水场所的用水阶段，用水前的净水场的处理阶段和用过后的污水处理场阶段。

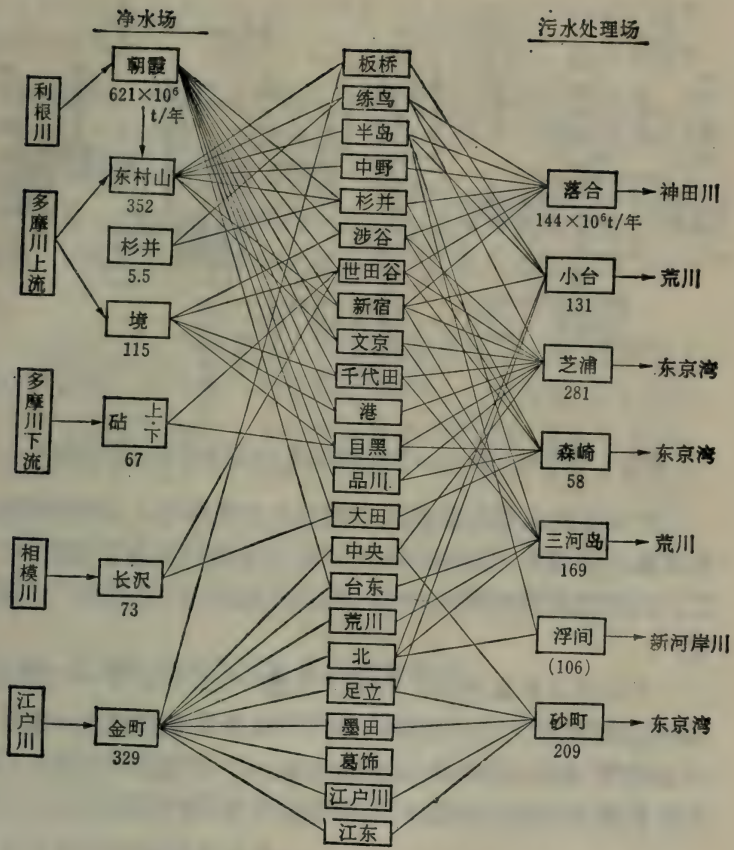


图 2.2　东京都上下水道输水系统(1971 年)

除这种直接随水的流动而发生的物质移动之外，还有间接地随同净水、用水、处理废水等人为措施而发生的物质移动。如在净水场加进和排出沉淀剂，加入和处理活性炭，水渠和水管设施的修建也伴有物质移动。当然，这种情况，不仅水是如此，在人类的任何行动时，都相应地会有某些物质的移动变化。

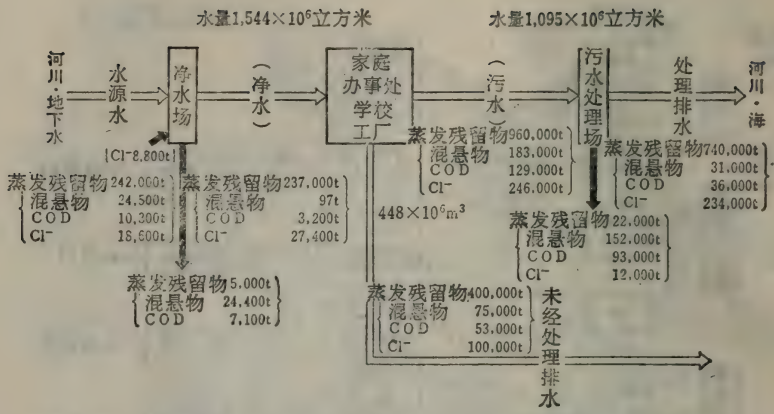


图 2.3　东京都内，随同上、下水道的水流发生的物质移动（1970 年）

什么样的人类活动模式引起哪些物质移动，从这个观点出发进行的研究，以前还很少。最近也进行过关于制定一个工厂的物质移动流程的尝试，但在实际应用上还不能令人满意。

下面试以东京为例，沿着上水道 → 水的使用 → 下水道这样的流程，对发生什么样的物质移动极其概略地作一整理。正如前节“水循环”所述，把城市当做一个有机体来对待时，象这样把握水流整体的观点，显得特别重要（参照图 2.3）。

A. 在净化过程中发生的物质移动

用于上水道水源的河水和地下水含有各种溶解的或混悬的成分，不能不加处理就用作上水道的水。为达到上水道水质的规定标准而进行的排除水中无用的或有害的物质，或杀灭有害的细菌等措施，就叫净水。近年来水源污染日益加重，所以在水源水中移动的物质量也在增加。

在净水场不仅用物理方法沉淀、吸附、过滤混悬物质，还

用各种化学沉淀剂吸附、沉淀溶质，从水中把它们除掉。这种临时向水中加入的沉淀剂，过后又要再行排出。最近在污染严重的情况下，还放入活性炭，用以吸附、过滤有机物质。对采取这些措施而加入的物质量和从水中清除的物质量是巨大的。这些物质的处理已成为重大问题之一。在净水场清除杂质的过程中，除物理的化学的方法外，还用微生物分解水中有机物。这时有机物中的碳素最终成为二氧化碳排除到空气中去。

净水场不仅清除水中的杂质，主要是为了灭菌，还要注入氯气等药品。氯气的一部分从水中排出，一部分残留在水中。

将东京都区域内八个主要净水场的物质收支加以归纳，如图 2.3 所示，混悬物(浊度)，NH_3-N，NO_2-N 在净水里几乎都已清除掉。全铁或磷酸盐、COD 也大部分被除去。但 NO_3-N 和硅酸几乎不见减少。氯离子和硫酸离子反而有所增加，这是因为加入了作沉淀剂的硫酸铝和作灭菌剂的氯的缘故。

B. 随同水的使用而发生的物质移动

净化以后的水道水，在经过各种用途中，又带进了各种物质。在各种用途中带进何种物质各有多少量，尚无完整的调查资料。有关人类活动的类型与污染物质排出的关系方面，今后应该研究的课题很多。

一般家庭用水后各物质带进排水中的途径有：饮用水或食物中的水分进入体内，和体内废物一起以尿的形式排出体外；水冲厕所带入尿屎、卫生纸；在洗脸、洗澡的脏水中带入肥皂沫、污垢、灰尘；厨房脏水中带入食物的残渣、垃圾；洗涤水中带入污垢、尘土、洗涤剂、肥皂沫；打扫卫生时的脏水中带入尘土、垃圾等等。成分复杂多样，以溶解于水的有机物和混悬物较多为特征。

在工业生产上，各种物质也被带入水内。因为也有没有工业的城市，所以虽不一定是所有城市的特征，但在工业发达的城市，量和质都成为重大问题。工厂用水的方式有：(1)做原料用的(饮料、食品等)；(2)镀金工厂等用作化学反应媒介物的；(3)做搬运原料媒介物用的；(4)冷却用水；(5)洗涤用水等等。其中给排水里添加大量物质的是(2)(3)和(5)，(4)的冷却用水的附加物则为热量，排放工业热水成为热污染的原因。

总起来看，向废水中排入物质最多的是食品厂、皮革厂、纸浆厂、纤维厂、镀金厂和各种化工厂。各个工厂究竟排入多少物质，这一点调查尚不充分，公开发表的资料也少，所以还不能详细论述，这是解决环境污染问题的一个难题。另一方面，来自农林业、水产业的水中的杂质，对城市来说，除污染上水道水源之外，问题不大。

此外，还有随同城市设施及其他城市活动而来的用水问题，由这一途径进入水中的物质也要考虑。例如商店、百货公司、办公室、商场、学校、医院、政府机关、公共浴池、娱乐场所、公园、交通部门及其有关的设施、环卫部门等等。对其中任何一个虽然都缺少实际调查研究，但可以肯定都向水中排放特定的物质。

特别是用水多，且向水中排放大量物质的有生鲜食品市场、浴池、环卫部门、医院、食堂等等。由医院和大学研究部门排放的化学药品和从加油站排出的油类等特殊物质，其量虽小，却不能忽视。

以上提到的用水主要指上水道的水，也有一部分井水和海水(主要用于冷却、用后多半再排回海里)，或处理过的下水道的水。

还有，废水也不一定都进入下水道。从各类土木工程和施工现场进入水中的物质也不可忽视。其中混悬物质特别明

显。

C. 和下水道有关的物质移动

经过利用含有各种物质的水，有下水道时进入下水道，无下水道时便不加处理地任其流入河海。东京都区域内，流经上水道的水大约 2/3 进入污水处理场。但因为东京是混合式的下水道，上水道以外的雨水、工厂和大厦抽取的井水也进入污水处理场。上水道中的水哪些部分进了下水道，这一点尚不明确。进入下水道的水在到达处理场以前除掉一些物质，如一部分有机物分解成为气体，沉淀的物体及被水泵滤过器挡住的大块漂浮物也已被除掉。

在污水处理场，使混悬物质沉淀后排出，溶解在水中的有机物的某些部分，由细菌分解使之无机化，变成二氧化碳排到空气中去，但磷酸盐和氮化物仍旧随水流走。虽然在这一处理过程中沉淀的或由微生物分解的物质成为污泥排出水的系统，但这种污泥如何处理，目前仍成问题。

象东京的浮间处理场，专门处理工业排水，不单纯是生物化学的处理，还加入沉淀剂等药品进行处理，所以也能除掉一部分重金属。以水为媒介物的物质移动，除上下水道管道外，通过自然河流和水渠的也很多，各种废弃物质和废水流到河里，带来水质污染。对这一问题局部的调查研究为数不少，但从城市物质量移动的观点进行研究整理的还没有过。

进入河流的物质，除经水而来的以外，还有很多是直接抛入的垃圾，或地面土砂及废弃物随大雨一起流进河流的。还有空气中的物质直接沉降到水上，或随雨落下的等等。总之，随水发生的物质移动的途径是极其多种多样的。

在东京都内六个污水处理场一共从水中取出多少物质，如图 2.3 所综合那样，S.S、COD 和 BOD 的处理效率较高，

与此相比，含氮物质的处理效果不好。

此外，被用过的净水在下水道里未能得到处理的部分，水质和纯污水一样就被排出，其中 S.S 和 COD 约为经过处理排水的二倍的含量，N 和 Cl^- 约为一半*、其它成分大致与之相同。一旦被排放到河流中去，这样的排水和处理不彻底的排水，成为东京湾污染的原因。

---

* 原文如此，疑有误。——译者注

第3章　有机物的代谢

现在已知的有机物的种类，超过几十万种，对每一种都以城市为中心的物质移动进行追踪研究，实际上是不可能的。在这里仅举二、三个与城市问题关系较深的有机物加以说明。

能够从量上说明问题的资料，不是以化合物为单位，而是当作化合物集合体的经济物质加以整理的。数量大代谢又快的有食物、燃料、纸、纤维制品，以及以人类为主的生物体等等。这些有机物在城市内活动的特点，常常伴有质的变化。变化的类型各种各样，最重要的是经过氧化反应使有机物无机化的过程。这一过程同时关联到能量变化和氧气的消耗，所以要把这些物质在城市的变化结合在一起进行考察。

在城市内部产生有机物的主要方法有植物的光合成和工厂里的合成。无论哪一种，从量上看，在和城市有关的有机物中所占比例都很小。但后者作为特殊物质而言，所占比重将要增大。

3.1　食物的代谢

住在城市的人和各种动物的食料主要是有机物。进入城市的食物形态有粮食、青菜、水果、肉、鱼等未加工的原料及加工过的食品。加工程度也不同，有仅仅磨过的米和面、有经过加热、干燥的，也有各种情况混合在一起的，还有象干酪、酒等经过化学变化的。摄入体内的食物，有在城市加工过的，也有

几乎没有经过加工的。

在工厂加工或家庭做菜时，不能食用的鱼骨等做为废物抛掉。也有把这些东西用于其他用途的。如牛皮、猪皮、兽骨等做工业原料，也有的做家畜饲料，但就在这个阶段变成垃圾的也不少。这种废弃物当做垃圾丢掉，最终由细菌分解为无机物，或被抛弃到城外。至于作为食物进入人体的有机物，经过消化吸收，一部分成为热源，氧化放出二氧化碳；一部分成为身体组成部分。未被消化吸收的部分和身体的废物一起作为排泄物排到体外。这些东西在有污水处理系统或粪尿处理系统的地方，被运到处理场，进行好气性分解，变成无机物，嫌气性分解变成沼气等等。即使经过处理的，也有一部分未被分解而运到市外，其数量犹如前边推算的那样。更有甚者，象东京那样，把不少未经处理的粪尿直接抛弃到市外的海洋里。这种办法，对城市物质系统本身来说，是最容易的，而且负担也轻，但对周围的影响则是很大的。

3.2 纸的代谢

在城市内移动的物质中，除水、食品、燃料之外，变动最快，数量最大的是纸。近代文明或文化的发达和纸的消耗关系密切，这是人所共知的。

可以将城市中纸的各种流通绘成如图 3.1 的模式图。但这种流通情况，各个城市有很大差别。特别象东京这样的出版、印刷能力集中的城市，与缺乏这种能力的城市相比相差很大。这里以东京为例进行叙述。

按纸的主要用途可分为报纸、杂志、书籍或办公用的文件，笔记本、广告画和传单等宣传用纸、包装用的厚纸箱、包装纸、卫生纸、窗户纸等杂用纸。对这些纸张，各有不同的质量

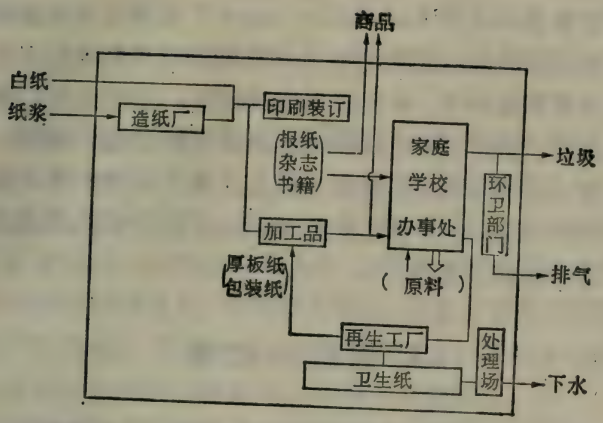


图 3.1 城市内纸循环

要求，在城市内又各有不同的流动形式。

纸进入城市的方式，以白纸为主。如有造纸厂，则还能以纸浆及其他原料或废纸的形式运进来。没有印刷能力的城市以印刷品的形式运进来。也有一部分以水果、青菜或其他商品的包装纸的形式进入城市。

报纸、杂志及其他书籍是在白纸上印刷、裁切、装订后，以成品向市场运出，其中一部分运往市外，一部分留于市内。

在城市内使用的纸张，有各种不同的命运。有象书籍等长期保存的；有象旧报纸、厚包装纸那样的作为废纸回收，溶化后再做低级纸张的；有当垃圾回收烧掉的；还有象卫生纸那样，经污水处理场处理分解的。废纸更新时，因含有油墨等各种物质，质量逐渐下降，所以纸的完全再循环利用是困难的。

和纸的移动循环有重要关系的是，与纸张一起发生的物质移动。特别是印刷品，使用大量油墨，具有不同性质的油墨又含有各种不同成分。尤其是彩色印刷品，含有各种金属物

质。还有象诺卡本纸 (no Crabon paper)* 那样含有聚氯联苯一类特殊的有机物。用含有这种有机物的纸再制成的卫生纸已检查出有聚氯联苯，再生使用很成问题。如将这样的纸当做垃圾处理，就会把聚氯联苯释放到自然界中去。如流入下水道会进入水的系统，埋起来会进入土壤。在清扫场烧掉也会进入空气中去，用水冲洗其废气时又会进入水中，这是今后解决环境污染的主题之一。

3.3 燃料的代谢

和电力一起成为城市能源的石油、煤、天然气等化石燃料，作为汽车、飞机等交通工具和工厂的动力能源，或作为炊事、取暖等热源，或在火力发电厂变成电能，用途广泛。城市煤气系统还把这些化石燃料改变性质，混合使用。

这些燃料的主要成分都是碳化氢或类似的化合物。还包括含有氮、硫、氧及其他微量成分的化合物。

化石燃料消耗空气中的氧进行燃烧，产生 CO_2、CO、H_2O、NOx、SOx 等氧化物，还有不完全燃烧而进入空气中的成分，这种成分在空气中发生各种反应，推断是产生光化学烟雾的原因。

进入空气中的二氧化碳，很少一部分在城市内由植物吸收固定，大部分转移到城外。

燃料中本来就含有各种不纯物质，为提高燃料性能还有加进 4-乙基铅等物质的，这也成为空气污染的原因之一。

使用煤、木炭等固体燃料时，产生固体残渣，当做垃圾丢掉，几乎没有使用价值。

---

* 诺卡本纸 (no Carbon paper)：不垫复写纸便能复写的纸。——译者注

3.4 氧气的消耗

进出于城市的氧气中，硅酸盐、碳酸盐和水所含的量虽大，但起反应的不多。与之相比较，有机物中含有的氧气发生的反应、变化要大得多。但从生态学角度看，大气中氧气的变化是最重要的。大气中平均含有 20% 的氧气，在城市的各种过程中参与化学反应，形成氧化物。城市内还有由植物光合作用产生的氧。虽然没能从定量上确定，但其数量和在城市内由氧化反应消耗的数量相比是微不足道的。

在城市内主要的氧气消耗如图 3.2 所归纳的那样，一部分与生物活动相关联，包括人类在内动植物的呼吸作用、随同细菌活动发生的有机质废物的氧化分解等等。另一部分是以各种化合燃料为主的有机物燃烧时所消耗的氧气，即与能量消耗有很大关系。除了作为能源的助燃剂之外，在垃圾清扫场焚烧废纸、碎木、树枝和树叶等垃圾时也消耗氧气。因火

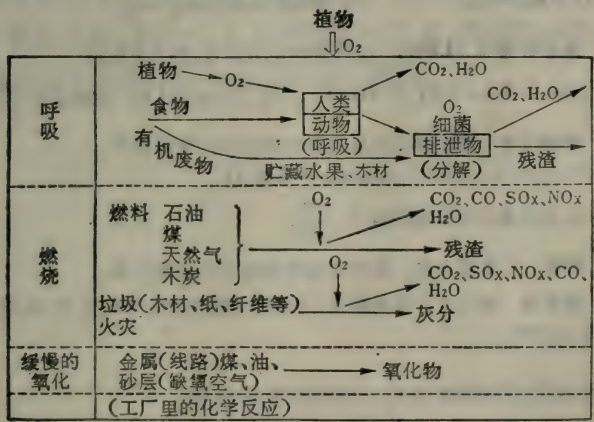


图 3.2 氧气的消耗

表 3.1 城市氧气消耗量 (Urban Oxygen Demand)

(东京都，1970 年)

	消耗或排出量	O_2 消耗量
石油燃料	1,051 万(千升)	3.6×10^{13} 克
煤	$2,141\times10^3$ 吨	4.6×10^{12} 克
液化石油气	879×10^3 吨	3.2×10^{12} 克
烧垃圾	$1,000\times10^3$ 吨	1.2×10^{12} 克
呼吸	800 克/人·日×1,000 万人×365 日	3.4×10^{12} 克
排泄物(生物化学需氧量)	40 克/人·日×1,000 万人×365 日	1.3×10^{11} 克
合　计	—	4.8×10^{13} 克
都内 300 米上空空气中的 O_2		1.9×10^{14} 克

计算方法如下：

1) **石油系统燃料** 将石油成分平均假定为 C_nH_{2n}，按下式氧化。不考虑 S.N 及其它成分。

$$C_nH_{2n} + 3/2_nO_2 \rightarrow nCO_2 + nH_2O$$

$$\therefore O_2 \text{ 消耗量} = \text{石油燃烧量} \times \frac{48_n}{12_n + 2_n} = \text{石油燃烧量} \times \frac{24}{7}$$

2) **煤** 假定大约碳为 0.8，不考虑其它成分的氧化。

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 \qquad O_2 \text{ 消耗量} = \text{煤燃烧量} \times \frac{32}{12}$$

3) **液化石油气 (LPG)** 以丙烷作主要成分，按下式反应。

$$C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O \quad \therefore O_2 \text{ 消耗量} = \text{LPG 燃烧量} \times \frac{160}{44}$$

4) **焚烧垃圾** 假定燃烧垃圾的平均成分和纤维素相同。

$$(C_6H_{10}O_5)_n + 6nO_2 \rightarrow 6nCO_2 + 5nH_2O$$

$$O_2 \text{ 消耗量} = \text{垃圾燃烧量} \times \frac{192}{162}。$$

5) **呼吸** 只考虑人类。按每人每天消耗 800 克氧计算。

6) **排泄物** 每人每日排泄量按（生物化学需氧量）平均为 40 克，暂定这些氧用于氧化。

灾房屋家具燃烧时也有大量氧气被耗费。

与上述有机物或城市气体中的氢、一氧化碳等发生反应

的氧气，形成 CO_2、NOx、SOx 等氧化物或水。

与迅速氧化的所谓燃烧相反，缓慢进行的氧化反应中，有各种金属表面、煤、油等与空气中的氧气慢慢发生反应而氧化的。其中还包括因地下砂层氧化而产生缺氧空气所引起的新问题。至于各种氧化的定量，目前还不清楚。

此外，在各种工厂内进行的化学反应也消耗不少氧气，这在量上也不清楚。

以上各项中，比较能够从数量上掌握的燃料燃烧、呼吸、烧垃圾时的氧化消耗，以东京为例所作的计算如表 3.1。

如表所示，由燃料燃烧消耗的氧占绝大部分，达全部消耗量的 90%。

氧气消耗量与能消耗量及化学反应关系密切，所以从地球化学的角度看，可以当作表示城市活动程度的指标之一。

下面的计算作为参考。东京都上空 300 米以内空气中所含的氧气量，每年约被消耗 1/4，假如空气静止不动，则四年内氧气将成为零。如以一年内平均风速每秒 3 米进行空气交换，按东京都平均宽 30 公里，每年平均大约交换空气 3,000 次，从整体来看，目前还不必担忧氧气不足，但局部地发生空气缺氧之类的问题，是今后应注意的问题。

第4章 能的收支

城市中活跃的人类生活，是靠消耗各种形态的能进行的。和物质收支一样，城市物质系统的能收支也具有重要意义。进入城市里的能有日光、风力和地震等自然界的能源，以及电力、燃料等人工的能源。如前所述，后者包括以利用为目的的能量和从属地发生的能量。

进入城市的各种能，因使用的目的而具备各种形态，并在使用过程中改变形态。如化石燃料燃烧，伴随着化学反应，因而要从与物质变化的关系上进行研究。

改变成不同形态的能，最终几乎都成为热能。也有一部分以音、光、电波的形式排出城市系统之外。

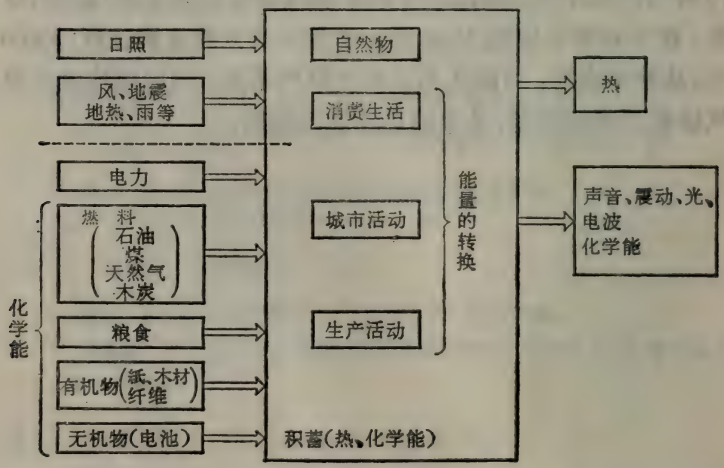


图 4.1 城市的能收支

表 4.1 东京都内产生的热量(1970 年)

物质名称	消费量(或排出量)	热量换算值(卡)
燃料		11.8×10^{16}
汽油	278 万(千升)	2.4×10^{16}
灯油	239	2.1×10^{16}
轻油	147	1.5×10^{16}
重油	307	3.5×10^{16}
液化石油气	879×10^{3}	1.1×10^{16}
天然气	24×10^{6}	2.3×10^{14}
煤(煤气、电力、工厂)	2.14×10^{6}	1.2×10^{16}
输电量	2.03×10^{10} 千瓦小时	1.7×10^{16}
食品		5.5×10^{15}
水产品	830,000 吨	1.3×10^{15}
蔬菜	1,600,000 吨	8×10^{14}
水果	830,000 吨	4.2×10^{14}
禽及禽蛋	2,500 吨	3.8×10^{12}
大米	730,000 吨	2.9×10^{15}
畜产品	57,000 吨	1.1×10^{14}
焚烧垃圾 容器收集的垃圾 送来的垃圾 收集的大件垃圾 大扫除的垃圾	1,240,000 吨	2.3×10^{15}
总　计	—	14.2×10^{16}

注:“热量换算值”为各项“消耗量”乘每单位发热量。资料来源如下:

1) 石油、天然气……1970年石油统计年报(其中重油为东京都资料)。

2) LPG……LPG 协会资料。

3) 煤……煤碳协会资料电力调查统计月报 Vol.21。1970 年煤气事业统计年报。

一般工厂 179×10^{4} 吨

电力 819×10^{3} 吨

城市煤气 $1,143\times10^{3}$ 吨

4) 电力……都内电力使用量(1970 年东京都统计年鉴)为 2,492,962 万千瓦小时,但都内发电量(电力调查统计月报 Vol.21) 462,455 万千瓦小时

为重油及煤的发热量，所以只考虑了从都外来的输电量。

5）食品……1970 年东京都统计年鉴。

6）垃圾焚烧……1971 年度东京都清扫局事业概要。

7）各种能源单位发热量：

电力 1 千瓦小时	860 千卡	食品	
汽油 1 升	8,600 千卡	水产品(平均) 1 公斤	1,500 千卡
煤油 1 升	8,900 千卡	蔬菜(平均) 1 公斤	500 千卡
轻油 1 升	9,200 千卡	水果(平均) 1 公斤	500 千卡
重油 1 升	9,900 千卡	鸡蛋(平均) 1 公斤	1,500 千卡
液化石油气	1 公斤 12,000 千卡	畜产品(平均) 1 公斤	2,000 千卡
天然气	1 立方米 9,800 千卡	大米(平均) 1 公斤	4,000 千卡
煤	1 公斤 6,000 千卡		
垃圾(平均)	1 公斤 1,700 千卡		

表 4.2　能源消耗比较（1970 年度）

	全国		东京	
	消耗量(卡)	每单位面积消耗量(卡/平方公里)	消耗量(卡)	每单位面积消耗量(卡/平方公里)
石油	2.0×10^{18}	5×10^{12}	9.5×10^{16}	4.7×10^{13}*
煤	1.4×10^{17}	3.5×10^{11}	1.2×10^{16}	6.0×10^{12}
天然气	2.3×10^{16}	5.5×10^{10}	2.3×10^{14}	1.1×10^{11}
电力	8.8×10^{17}	2.2×10^{12}	1.7×10^{16}	8.5×10^{12}
合计	30.4×10^{17}	7.6×10^{12}	12.4×10^{16}	6.1×10^{13}

* 原文有错，按文字部分叙述应为 4.7×10^{13}。——译者注

表 4.3　一年内每人平均能源消耗量

	全国	东京
石油	2.0×10^{10} 卡/人·年	9.5×10^{9} 卡/人·年
煤	1.4×10^{9}	1.2×10^{9}
天然气	2.2×10^{8}	2.3×10^{7}
电力	8.8×10^{9}	1.7×10^{9}
合计	30.4×10^{9}	12.4×10^{9}

进入城市的能一部分以热能或化学能的形式蓄积起来。蓄积的热能提高城市气温，成为形成城市特殊气候的主要因素。

《东京都产生的热量》 对于城市内人为地消耗能源产生的热量，曾以东京都为例做了计算。发生的热量不仅是直接用做能源的，也有最后转变为机械能和电能的。还有食品在体内氧化时产生的热，以及焚烧垃圾产生的副次热效果。对其中可以进行定量计算的一些项目归纳整理如表 4.1。

《全国与东京都的能源消耗的比较》 从地区来看能源使用量，也就是废热的产生量，有多少集中于城市，这是评价能源消耗对环境影响的基本资料之一。

现将东京和全国平均每单位土地面积的主要能源消耗量进行比较，结果如表 4.2。无论哪种，单位面积消耗量都是东京比全国平均数值高，石油约为 10 倍，煤 6 倍，天然气 2 倍，电力 4 倍，合计约 8 倍。这显示人类活动的集中情况以及随同而来的对环境发生的强烈影响。

与此相反，按每人消耗量的情况如表 4.3。石油约为1/2，煤大致相等，天然气为 1/10，电力约 1/4，总计为 1/2.5。每人平均消耗水平，东京反而比全国平均数小，这是个颇有趣味的问题。

小　结

从上述观点出发，以东京都为例进行了研究。最后，需要提出以下二、三个问题作一番说明。

一个是如何划定城市范围的问题。从地球化学的立场，在物理上建筑物连接的地方是该当做一个城市看待的。如东京、川琦、横滨等即是连在一起的，从形态上没有分为三个城

市的理由。然而能够利用的资料，几乎都是按行政区划进行收集整理的，按物理形态的划分进行资料整理则非常困难。所以，对很多项目进行这种研究时，目前不得不按行政区划去做。当然用于行政目的时，这样也是可以的。

再就是如何划定上下方向的空间问题。将上空多高和地下多深划入城市空间，在数字上将产生很大差别。

还有一个问题，对通过公路和铁路的物资没有直接测定其物质量的方法。对通过城市的全部物资的重量进行测定，实际上是不可能的，也曾设想通过照象观测，但难以了解物资的内容。

现在只能利用为其他目的所作的调查数据，精确程度是有限的，收集不到资料的物质也不少。对散在于各种物资中的微量成分更是如此。

今后在各方面进行调查时，希望尽可能取得这种资料。

参 考 文 献

1) Wolman, A.：The metabolism of cities. *Scientific American* 186, (1952).
2) 安部喜也：都市と水質汚濁，都市と国土3，都市の自然環境 118, (1971)，鹿島出版.
3) 安部喜也，松本源喜：東京都における建造物の現存量の概算，文部省特定研究「都市における化学物質の社会地球化学的行動に関する研究」(研究代表者半谷高久）昭和46年度中間報告書，51～121，(1972).
4) 昭和45年度東京都統計年鑑，(1972).
5) 公共下水道統計（昭和45年度）27号，日本下水道統計，(1972).
6) 昭和45年度東京都水道事業年報，東京都水道局，(1971).

索　引

七　画

八　画

九　画

十 画

十 一 画

十 二 画

十三画

十四画

十五画

十六画

十七画

二十三画

242050 58.181
144

书　名　城市生态学 1986年

借者姓名	借出日期	还书日期
王德民	86.7.3	
86年11	86.9.27	续
[illegible]	87.3.11	
[illegible]	87.4.15	

58.181
144　242050

注　意

1 借书到期请即送还。
2 请勿在书上批改圈点，折角。
3 借去图书如有污损遗失等情形须照章赔偿。

京卡0701

封面设计：刘玉琦

统一书号：13031·
定　　价：1.2

本社书号：4466·13-18
科技新书目：116-37